



电的科学史

从富兰克林的风筝实验到马斯克的特斯拉汽车

[美] 克雷格·罗奇（Craig R. Roach）◎ 著

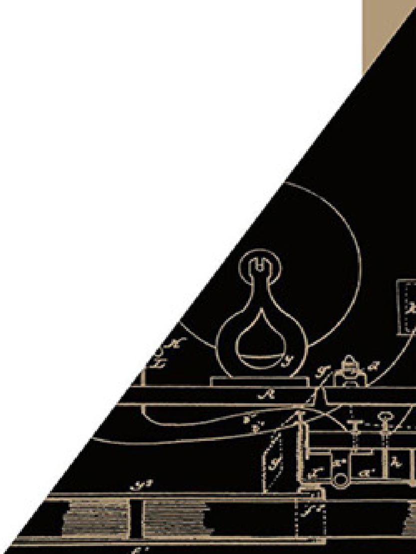
胡小锐 ◎ 译

SIMPLY ELECTRIFYING

The Technology that Transformed the World,
from Benjamin Franklin to Elon Musk

电从哪里来，它如何点亮世界，
又将如何改变未来





中信出版集团

版权信息

书名:电的科学史

作者:[美]克雷格·罗奇

译者:胡小锐

ISBN:9787508686691

中信出版集团制作发行

本杰明·富兰克林说过：“当人们的意见存在分歧时，双方都应同样拥有向公众陈述理由的机会；当真理和谬误公平竞争时，前者一定能战胜后者。”

谨以此书献给所有认同这个观点的人。

引言　放飞想象力

（富兰克林）发现电是一种奇物，并使电学成为一门科学。

——卡尔·范·多伦（1938）注

大家有没有想过，假如你的世界里没有电，会怎么样？没有电，就没有清晨的闹钟声和咖啡机，没有电灯、电暖气和空调，没有高速运转的电机，也没有电脑和手机。

265年前，现代电力科学的发源地——费城，就是这样一个世界。清晨，日出或公鸡打鸣是催人早起的“闹钟”。煮咖啡、做饭用的是简单的柴炉。推动企业发展的是肌肉的力量，或者说是字面意义上的马力。只要计算，就肯定离不开铅笔和纸。没有人可以想象电会给整个世界带来怎样的变化，因为在那个时候，电力是一种异想天开的力量，人类还没有捕获并驯服这种力量。

没有电，城市的夜晚最多只会点缀一些暗弱的光，而且常常潜藏着危险。想象一下，我们正坐在烛光旁边阅读、做针线活儿或者其他必须凑近烛光才能完成的工作。100支蜡烛才能发出与一只100瓦白炽灯泡相当的光。靠近无遮无挡的烛火，意味着衬衫袖子、头发或者窗帘会有着火的危险。但是，危险并不仅限于室内，在室外也可能有摸黑走路、遭遇抢劫甚至后果更严重的危险。唯一值得安慰的是，在没有电灯的夜晚，我们可以欣赏到朗朗夜空的繁星闪烁。注

令人惊讶的是，一些大胆的头脑渴望并想象出电这种东西，可谓“见人所未见”。其中，费城的本杰明·富兰克林做出了最重要的贡献。1752年6月的一天，富兰克林在暴风雨中放飞了他的风筝，让世界

“看到”了电。很明显，这个实验非常危险，因此人们一直怀疑富兰克林是否真的这样做了。但是，我们没有理由怀疑他做风筝实验的真实性，只不过他做实验时的天气可能并没有那么恶劣。注

富兰克林的独特才智无疑是他成功的核心因素，但是他生活的那个时代也是科学技术的一个分水岭，这同样对他的成功起到了不可或缺的作用。当时，科学革命已经改变了人类对宇宙的认识，紧随其后的工业革命又将改变世界经济。牛顿等人已经开始借助精确的数学来解释宇宙力学中的万有引力。最终，富兰克林等人也会用这种方法对电、磁和光进行研究。

与此同时，当时的人普遍采用一些在今天看来十分原始，甚至有点儿残忍的科学和医学方法。举个例子，他们用放血术治疗发烧和感染。乔治·华盛顿和其他许多人可能都死于类似的“治疗法”，而不是在生命晚期染上了某种致命疾病。科学和技术的巨大转变，有时会在生活的许多方面带来不均衡的进展。注

本杰明·富兰克林和他的风筝实验代表人类只迈出了一段迷人旅程的第一步。在那之前，没有几个人想象过有电的生活。而在走完这段旅程之后，大多数人已经无法想象没有电的生活了。在时代的需求和社会风俗的推动（很多时候是阻挠）下，许多著名人物（和一些声名狼藉的人）的大胆行动为这段旅程提供了动力。

这些创新者建造的电力基础设施功能强大，即使到了现在，发达国家的每一个居民也离不开它们。本杰明·富兰克林、迈克尔·法拉第、詹姆斯·克拉克·麦克斯韦、尼古拉·特斯拉和阿尔伯特·爱因斯坦等人取得的引人注目的科学进步，为这些基础设施铺下了第一块基石。事实上，爱因斯坦认为电的发现不仅是通向现代物理学道路上的一站，而且其本身就是一条道路。人类对电的理解带来了物理学领域的许多重大突破。

第二块基石是在这一伟大科学的基础上取得的技术进步。人类历尽艰辛，终于在电与磁之间建立了联系，塞缪尔·摩尔斯（Samuel Morse）发明的电报是电磁学的第一个成果。电报的产生是为了交流，这一点很重要。电力业务和电信业务都是同一科学的产物，但是后者在现代技术进步中的发展速度远远超过前者。

电力技术巨头间的第一次战争主要是托马斯·爱迪生与乔治·威斯汀豪斯（George Westinghouse）之间的对垒，尼古拉·特斯拉站在威斯汀豪斯的一边。这也是第一次电流之争。最后，威斯汀豪斯的交流电系统击败了爱迪生的直流电系统。交流电为规模经济的诞生创造了条件，因为发电厂可以与远距离的用户连接在一起。有意思的是，现在很少有人完全清楚威斯汀豪斯和特斯拉所起到的关键作用。

第三块基石是在全美范围内推广电力服务的业务实践活动。为这项活动设立标准的创新型商业巨头塞缪尔·英萨尔（Samuel Insull）充分理解和信任规模经济，他的目标是将发电厂和输电线路的固定成本分摊到越来越多的用户头上，从而降低电价水平。最终，电变成了所有人都用得着而且负担得起的商品。通过这个办法，英萨尔完成了电力的第一次亲民化。

然而，对“大规模”的追求也导致英萨尔陷入困境，这也是时至今日仍然有人认为他臭名昭著的原因。1932年，美国一共有三家控股公司（英萨尔拥有其中一家），它们控制了全美几乎1/2的发电量。当英萨尔的控股公司在大萧条时期陷入困境时，当时的美国总统富兰克林·罗斯福出面指责英萨尔是导致经济危机越发严重的罪魁祸首。[注]

与第三块基石密切相关的第四块基石是政府监管。20世纪初，英萨尔实际上已经邀请美国各州对公用事业实施监管。利用这种监管制度，英萨尔得到了若干专属服务领域（为建立规模经济创造条件的公用事业垄断权），作为交换，各州有权对电力服务实行基于成本的收

费方式。然而，联邦监管在大萧条时期出现了。富兰克林·罗斯福就任美国总统后，通过采取一些积极的措施，解散了大型控股公司。这是有史以来美国政府在非战时期采取的规模最大的干预行动之一，导致各州和联邦政府的管辖权发生了冲突，而且这种矛盾直至今天也没有得到任何缓解。

环境监管是政府监管这块基石的一个组成部分，而且是越来越重要的组成部分。宾夕法尼亚州发生的多诺拉烟雾事件起到了重要的推动作用。很多人认为，蕾切尔·卡森于1962年出版的《寂静的春天》是开启现代环境保护运动的一部里程碑式的作品。书中不仅有卡森收集的有关杀虫剂巨大危害的那些令人信服的文件，还反映出卡森的勇气。尽管卡森在访谈与写作中从未直接提及电力行业，但她却对这个行业产生了重大影响。从美国前副总统阿尔·戈尔于2006年拍摄的纪录片《不可忽视的真相》，到美国前总统巴拉克·奥巴马于2015年提出的“清洁能源计划”，这些努力都旨在解决全球气候变暖问题。在这些背后，都可以看到卡森的榜样作用。

今天，科学知识和文化价值的根本性变化催生了一个问题：是否有必要建立全新的电力基础设施？环境问题（尤其是全球气候变化）在电力行业发挥的驱动和主导作用是第一个变化。由于暴风雨和网络战争更加频繁，人们越来越关心门阶（而不是电网）处的电力服务可靠性，这是第二个变化。就像优步（Uber）的崛起体现了人们对运输方式的选择权需求一样，人们在电力供应方面同样有选择权需求，这是第三个变化。这些根本性变化为第二次电流之争埋下伏笔。这一次，对战的双方是完善的电网与行业新领袖（如埃隆·马斯克）提出的“个人能源”，后者经常采用小规模的可再生技术。这些变化还为第二次亲民化创造了条件，个人消费者可以用他们的钱包，为更好的环境保护、更高的门阶服务可靠性和更多的选择权“投出赞成票”。

以上是对电力行业雄心勃勃的发展历程进行的简单回顾，从中可以看出，真正了解过去和准确预测未来的唯一方法就是使用广角镜头——我们必须认真思考265年的电力历史。例如，如果我们的研究从爱迪生开始，就会错过第一块基石（富兰克林、法拉第和麦克斯韦的伟大科学成果）。同样，我们必须调查清楚推动电力工业发展的所有因素。只有对涵盖科学、军事战略和地缘政治（尤其是冷战的地缘政治）的广泛领域进行评估，才能解释核能崛起的原因。只有对汽车行业的战略机遇进行评估，并深入了解汽车文化，才能预见电动汽车的未来。只有透过广阔的视野，我们才能看清美国总统唐纳德·特朗普的看似挑衅性的内阁任命是否为气候问题的建设性妥协打下了基础。

电是整个现代生活的核心，然而，这个革命性力量的完整发展历程仍然没有公之于众。至少目前还没有。

---

1. Carl Van Doren,Benjamin Franklin (1706－1790) (New York: Viking Press,1938),171.
2. Assuming a 100-watt incandescent bulb has 1600-lumen output,and one candle power equals 12.57 lumens,the bulb is the equivalent of 127 candles.
3. Tom Tucker,Bolt of Fate: Benjamin Franklin & His Electric Kite Hoax (New York:Public Af airs,2003)
4. David M.Morens,MD,“Death of a President,”New England Journal of Medicine,341 (1999),accessed October 1,2016.doi: 10.1056/NEJM199912093412413.
5. Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,Document 92,Part 72-A,Introduction,35－39;Franklin D.Roosevelt;“Campaign Address on Progressive Government at the Commonwealth Club in San Francisco,California,”The American Presidency Project,accessed August 30,2015,<http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=88391>.

第一部分　富兰克林时代

一个令人敬畏的发明时代

第1章　富兰克林的风筝实验

他从苍天处取得闪电，从暴君处取得民权。

——杜尔哥（1779）注

1680年，一则新闻的标题这样写道：“一对父子连同4匹马在犁地时惨遭杀害。”凶手是谁？答案是雷电。接着，这则新闻详细地描述了受害男孩的情况：“他身上的衣服被撕得破破烂烂，帽子也破成了两三块。”而且，他从脖子到后背部位的皮肤都被烧焦了。因此，当时的人对雷电心存畏惧。1766年，一名牧师在布道时预言，雷电将在审判日那天把上帝的怒火倾泻到地球上，“整个地球将‘啪’的一声从中心位置裂开，然后彻底崩塌”。1746年，另一位牧师在布道时表示，人类成功破解雷电这个惊天秘密的希望十分渺茫，他断定“凭人类的能力不可能完全理解它”。注

本杰明·富兰克林不愿意接受雷电之谜无法破解这个说法。有一天，富兰克林在暴风雨中放飞了一只风筝，结果发现雷电不仅传递了上帝的愤怒，还可以被视为一种电学现象。想象一下，富兰克林冒险这样做需要多大的勇气！首先，他需要的是学术上的勇气，因为一旦实验失败，他就会在公众面前陷入尴尬境地，并承担非常严重的后果。其次，他所做的并不是在实验室里进行的有安全保证的实验，而是要用到雷电——当时已知的最神秘、最危险的力量之一。

通过风筝实验，富兰克林让人类见到前所未见的世界，同时开创了一个围绕电学展开探索活动的科学时代——富兰克林时代。通过这

一切，富兰克林向世人展示了他敢于面对生命与学术危险的勇气。在他非凡的一生中，这些勇气正是激励他不断前进的动力。

在富兰克林生活的时代，他被公认为世界上最重要的科学家之一，一些人称他为“电学领域的牛顿”。但今天，人们往往会低估他的科学贡献。美国在百元纸钞的正面印上了富兰克林的头像，反面是美国独立纪念馆。这个做法合情合理，但是为什么没有表现出他的实验、他的风筝或者他的避雷针呢？一些人认为，如果富兰克林没有在外交上取得成就，就几乎没有人会关注他在科学上做出的贡献。然而，越来越多的现代历史学家开始反驳这种观点。最近，一些学者提出，富兰克林在科学领域的声誉为他成长为美国独树一帜的外交家创造了机会。电学实验和电学理论使他享誉世界，这种名气为他赢得了与法国富人和权贵共进晚餐的机会。借助这些谈判机会，他促成了美法同盟的建立，使英属北美殖民地拥有了军队、船只和补给，从而在约克镇击败英国人，赢得了独立战争的胜利。电力对世界的最大贡献通常被认为是给人类带来了光明，但是对美国来说，它的最大贡献可能是带来了自由。[注]

富兰克林的人生经历具有深远的意义，它告诉我们，科学和科学家在电的历史中发挥了非常重要的作用。因此，电力从根本上有别于其他广泛应用的能源，例如煤和石油。在富兰克林时代，人们认为科学家的智慧可以解决所有问题，不管是技术、政治问题，还是法律、文化问题。试想一下，如果今天的科学家也是无所不能的，我们在全球气候变化等难题上就不会陷入争论不休的僵局以致无法取得进展。

第一桶金

有人说，当机遇与天赋发生碰撞时，就会产生成功的火花。对于富兰克林，更准确的说法是，环境与个人抱负的契合帮助他取得了科

学上的杰出成就。1706年生于波士顿的富兰克林是那个时代的产儿。当时，科学革命刚刚落下帷幕，对那些拥有充裕的财富和时间的人来说，科学是娱乐和社交活动的一个重要谈资。而且，英属北美殖民地的经济正在迅猛发展，因此富兰克林很快就积累了大量财富。㊟

他的早年生活不仅塑造了他的性格，还为他取得巨大成功奠定了基础。12岁时，富兰克林成为他哥哥詹姆斯经营的小印刷所的一名学徒，学徒期9年。我们先想一想印刷在那个时代的重要性：印刷匠是一个技术工种，印刷所在人们心目中的地位可能相当于今天的谷歌，通常是收集、更新和向有“访问权限”者传播信息的场所。信息传播的影响力极大，历史学家认为印刷术是新教改革、科学革命等重大文化变革的一个重要工具。作为一名学徒，富兰克林在学习印刷技术的同时完成了大量的阅读，学到了很多知识，这是印刷匠独有的一种教育资源。另一位伟大的科学家——迈克尔·法拉第，在他师傅的印刷所里也享受了同样的教育。在富兰克林的心目中，印刷文字逐渐变成了真理的裁定者。他写道：“印刷匠被灌输的信念是：当人们的意见发生分歧时，双方都应同样拥有向公众陈述理由的机会；当真理和谬误公平竞争时，前者一定能战胜后者。”㊟

17岁时，富兰克林放弃印刷学徒身份，离开了波士顿。最终，他在费城定居下来，并同另外一个做过学徒的人——休·迈瑞迪斯（Hugh Meredith），一起创办了自己的印刷所。在做印刷事业的那段时间里，富兰克林取得了一系列成就，充分显露出他广博的才能、过人的智慧和充沛的精力。其中一项成就是，他发明了一种能节约木柴的壁炉——富兰克林炉。他把这一发明称为“又一个太阳”，因为它可以像太阳那样发出光和热。可是，富兰克林没有为他的发明申请专利，这反映了他无私的品格。在电的历史上，是否申请专利是一个反复出现的话题。㊟

1748年，42岁的富兰克林退出印刷行业。凭借经营印刷业务所积累的财富，富兰克林得以在余生用自己的科学天赋服务世界，用外交天赋服务美国。通过不懈努力取得成功的经历，使富兰克林充满自信。他相信，只要全情投入，不论什么事都能做成。富兰克林取得的多项足以让他在任何时代傲视群雄的成就，充分说明他涉猎广泛，他的渊博学识也足以让他在现实的引领下找到实践与政治活动的有效方法。最终，富兰克林全身心投入到服务全世界，特别是美国的事业之中。

然而，我们也不应该因此将富兰克林视为完人。富兰克林喜欢恶作剧，有一次，他跟他的哥哥詹姆斯开了一个玩笑。詹姆斯创办了一份报纸——《新英格兰报》，一天，詹姆斯在家门口发现了一篇署名为赛勒斯·杜古德（Silence Dogood，字面意思是“沉默的行善者”，简称“杜古德夫人”）的文章。詹姆斯很喜欢这篇文章，便将它刊登在1722年4月2日的《新英格兰报》上。在接下来的6个月里，詹姆斯又收到了15篇这样的文章。詹姆斯并不知道，“杜古德夫人”其实是他弟弟本杰明的笔名。除了爱搞恶作剧，富兰克林在放弃学徒身份后还有藐视法律的行为。他有一个私生子，这个孩子的母亲可能是一名妓女。

失败有时是成功道路上不可缺少的一步，富兰克林的第一次伦敦之旅就是这样。当时的宾夕法尼亚州州长威廉·基思（William Keith）答应为他提供介绍信和信用证明，却言而无信，导致18岁的富兰克林在异乡陷入身无分文、孤立无援的困境。富兰克林不得不当了18个月的印刷匠，一边学习印刷技术，一边了解伦敦这座城市。与富兰克林后来的几次伦敦之旅相比，第一次的旅程被人们提及的次数要少得多，但正是因为这段经历，富兰克林成功地塑造了自信自立的品格。注

蜚声国际的科学家

合适的时机和可靠的计划

历史学家、哈佛大学科学史名誉教授伯纳德·科恩（Bernard Cohen）宣称富兰克林是当时“在世的最著名的科学家之一”，理由是富兰克林提出了“第一个令人满意的电学理论”，并且是“这门新科学的主要创造者”。在那个时代，即使简单的沟通也需要通过书信的方式，而且书信寄送需要几天甚至几周的时间。但是，富兰克林在1747—1752年这短短5年的时间里就声名鹊起，主要原因在于，他通过书信向伦敦的彼得·柯林森（Peter Collinson）介绍了自己的电学实验，这不能不令人感到惊奇。注

到底是什么让富兰克林从成功的印刷匠转变成世界知名科学家的呢？显然，这样的转变离不开他的学术天赋，但更重要的原因是，富兰克林对时代的需要和关注点有一种敏锐的直觉。在富兰克林时代，“科学”一词的意思是“智慧”，而自然哲学则与今天的物理学相一致。18世纪，最新的实验报告甚至常常被发表在地方性报纸上。做印刷学徒期间，富兰克林通过阅读《旁观者》（*Spectator*，英国散文家约瑟夫·阿狄生在这份杂志上自豪地宣布，他“把哲学从壁橱、图书馆以及大学院校中解放出来，使其扎根于俱乐部、集会场所、茶桌旁和咖啡屋”）等大众期刊，自学写作。注

富兰克林不仅选择了一个合适的时机，还为自己能引起世人关注制订了一个可靠的计划，并逐步把自己培养成今天所谓的“公共知识分子”的形象。他知道，地位低下的英属北美殖民地人民必须得到伦敦的支持，才能有机会成为一个名声在外的科学家。为此，当富兰克林获悉伦敦植物学家、英国皇家学会会员彼得·柯林森正在物色“英属北美殖民地门徒”时，他立刻写信与柯林森取得联系。后来，柯林森向伦敦的英国皇家学会介绍了富兰克林的电学实验。注

向牛顿定律发起挑战

1687年，艾萨克·牛顿的名著《自然哲学的数学原理》正式出版，比富兰克林出生的时间早19年。牛顿的另一部经典著作《光学》，出版于1704年。这两部作品从本质上看是不一样的，对富兰克林影响更大的是后者。《光学》对富兰克林来说比较容易阅读，因为它是用英语写成的，而不是拉丁语。但是，科恩认为更重要的原因是这部著作“致力于描述设计完美、操作简单的实验”。富兰克林的研究与《光学》都非常关注实验，两者的基本特性也是一致的。牛顿在《自然哲学的数学原理》中指出，万有引力是质量的函数，而与物质的类型无关。《光学》却与这一观点形成了鲜明的对比，因为它非常关注物质的具体类型，以及材料是否导电、有磁性。富兰克林的研究与《光学》具有相同的特点，正如科恩指出的，富兰克林是“信奉牛顿学说的实验科学家”。[注]

富兰克林在科学研究方面一直恪守英国皇家学会的箴言：“不盲目相信任何人。”也就是说，自然法则应该通过实验来发现，而不是想当然。这种凡事讲求实验证据的态度，是牛顿等人发起的科学革命的基础。电学研究是摆在他们面前的一个巨大考验，因为人们很有可能会坚守牛顿的著名发现，而不愿意接受一种不同的新观点。但是，这些大胆的电力科学家并没有畏缩不前，而是勇敢地面对引力和电力之间的差异，即使困惑不解也不退缩。牛顿的万有引力定律描述的是天体之间的吸引力，而电力不仅包括吸引力，还包括排斥力。他们必须解释吸引力和排斥力为什么可以共存，这是前所未有的一个新任务。富兰克林给柯林森写信的目的，就是要解释其中的原因。[注]

巧妙的电学实验

1747年5月25日和7月28日，富兰克林先后给柯林森写了两封信，解释他的电学基本理论。整个理论建立在平衡概念的基础之上。当一

个物体（如琥珀或玻璃管）中有正常数量的“带电物质”或“电流体”时，物体就会处于正常状态，既不会吸引也不会排斥其他物体。然而，如果物体中的电流体数量减少或者增加，这种平衡将会被打破，物体就会“有电”。富兰克林对这些不平衡状态进行了定义：电流体数量增加的物体带正电，电流体数量减少的物体带负电。这套理论关注的重点是单一类型的带电物质或电流体的再分布情况。[注]

最重要的是，富兰克林的理论解释了吸引力和排斥力。分别带正电和带负电的两个物体或两种材料彼此接近时，就会产生吸引力。也就是说，我们可以认为电流体与爱情一样，具有异性相吸的特点。相反，如果把两个带正电或者两个带负电的物体放在一起，它们就会相互排斥，即同性相斥。富兰克林的理论有时也被称为单流体理论。为了证明这套理论，他设计了一些简单而巧妙的实验。其中一些实验甚至给人一种玩室内游戏的感觉，因为这些带正电或带负电的实验对象都是活生生的人。在一个实验中，甲用丝绸摩擦玻璃，然后把这块带静电的玻璃递给乙；当乙拿到玻璃的时候，可以观察到火花飞溅的现象。[注]

解释莱顿瓶实验的科学原理

1746年，荷兰一所大学的一位研究人员进行了一个被他描述为“新颖但可怕的实验”。他就是莱顿大学的马森布罗克（Musschenbroek），他在实验中研发的设备被人称作“莱顿瓶”。莱顿瓶就是一个普通的玻璃瓶，里面装了一些水，一根铜线浸没在水里。加州大学伯克利分校的历史学家海尔布伦（Heilbron）说，“标准”的莱顿瓶“内外两侧还有金属箔”。莱顿瓶内侧的金属箔通过铜线与一根金属棒连接。用丝绸摩擦过的玻璃管携带的静电传递到金属棒上后，又会通过铜线传递到瓶体内侧的金属箔上。这时，瓶体内外两侧的金属箔就会产生电性相反、电量相等的电荷。因为玻璃是一种

很好的绝缘体，所以两种电荷无法汇合到一起，只能保持对峙状态。注

这为什么是一个“可怕的实验”呢？马森布罗克把他的右手放在莱顿瓶外侧，把左手放在向瓶体内侧传输静电的那根铁棒上，这样一来，他的身体就变成两个带异性电荷物体之间的通路。结果是，他“全身颤抖，如同被闪电击中一般”。注

在解释莱顿瓶实验时，科学家们产生了分歧，富兰克林与法国人让－安东尼·诺莱（Jean-Antoine Nollet）分属不同的阵营。尽管诺莱在现代的知名度远不及富兰克林，但是海尔布伦认为，1745—1752年，诺莱的理论都是“有史以来得到最广泛认可的电学理论”。注

富兰克林提出的正负电荷概念可以解释莱顿瓶的特性，因此他的理论最终取得了胜利。海尔布伦写道，莱顿瓶“瓶体内壁”聚集有电火花，“是因为它无法通过”玻璃向外传递。换句话说，富兰克林的理解是正确的，玻璃瓶的作用其实就在于很好地扮演了绝缘体的角色。瓶体内侧的电荷增加，意味着它需要以电火花的形式释放多余的电荷，而这种排斥力只能通过瓶体外侧的等量异性电荷来中和。诺莱亲自完成了这个可怕的实验，以至于他“蜷缩成一团，差点儿喘不过气来”。但是，他无法解释莱顿瓶实验的原理，只能断言这是一个“特例”。1747年7月，富兰克林给伦敦英国皇家学会写了一封信，解释了莱顿瓶实验的科学原理。这项成就进一步提升了他在国际科学界的声誉。注

闪电是电

富兰克林在这场理论之战中取得的胜利产生了深远的影响。一个地位低下的英属北美殖民地科学家与受教育程度很高、资金十分充足的欧洲科学家进行正面交锋，并且取得了最终的胜利。这不仅帮助他

赢得了个人声誉，还使英属北美殖民地科学家的不懈努力得到了回报，赢得了国际科学界的认可。富兰克林的成功表明，美国科学家的奋斗精神绝不弱于他们的欧洲同行。

然而，这次科学上的胜利对他的国际声誉的影响力，与他的电学实验相比就相形见绌了。富兰克林通过实验证明，把闪电视为与电力等同的一种作用力，是对闪电的最合理解释。富兰克林并不是第一个提出这种观点的人，但他是成功提出这种观点并激励人们通过实验进行验证的第一人。1750年7月，富兰克林在一封写给柯林森的信中提出了“岗亭实验”。首先，准备一个密闭岗亭，可以容纳一个人站在里面的绝缘体上。其次，在岗亭顶部安装一根指向天空的铁棒，长度为20~30英尺[注]。实验的目的是把天空中的闪电引到铁棒上，进而研究闪电的本质。[注]

有人认为，闪电源自风暴云携带的电荷，闪电又会将这些电荷传导到云层下方最高的物体上，无论该物体是教堂的塔尖还是高大的橡树。富兰克林希望检验这个说法是否属实。1751年4月，富兰克林所写的书信被结集出版，这本书就是《电学实验与观察》（*Experiments and Observations on Electricity*）。法国人孔德·德·布丰（Comte de Buffon）阅读之后，非常欣赏富兰克林的这本著作，就邀请让－弗朗索瓦·达利巴尔（Jean-François Dalibard）在电学实验员德罗尔的帮助下，把富兰克林的这本书翻译成法语。布丰一直对诺莱及其同事心存强烈的不满，原因有不少，例如，他与诺莱的支持者热内－安东尼·费舍尔·德·列奥米尔（René-Antoine Ferchault de Réaumur）之间有个人恩怨，两人曾经面对面或者通过第三方侮辱过对方。布丰对富兰克林的研究如此感兴趣，也是这种不满情绪的一种反映。既然富兰克林反对诺莱的观点，也就是反对列奥米尔，因此布丰愿意推广富兰克林的观点。[注]

1752年5月，布丰、达利巴尔和德罗尔等获得了公开宣传富兰克林观点的第一个良机。他们准备再现富兰克林的某些实验，法国国王路易十五也将亲临实验现场。他们三人决定实施富兰克林的“岗亭实验”，由达利巴尔在位于巴黎郊外20英里[注]的村庄马利拉维尔准备好实验设施。5月10日，布丰和德罗尔开始操作这个危险的实验。通过铁杆和铜丝的碰触，他们“看到了人类有意识地从天空中引来的第一个火花”。达利巴尔向位于巴黎的法国科学院报告了这次实验的情况。这次实验证实了“闪电与电的亲缘关系”，以及富兰克林对避雷针的判断是正确的：“头部较尖、安装在高处并且接地的金属杆”可以预防雷电危害。马利拉维尔实验成功地证明电学研究不是“玩具物理学”，而是一种非常重要的探索途径，可以解释一种主要的物理现象。[注]

富兰克林在暴风雨中放风筝的目的是证明闪电是电，这个实验是岗亭实验的一个变体，完成时间是在1752年6月。此时，三名法国人已经在马利拉维尔成功地完成了他们的实验，但是富兰克林还没有收到这个消息。引发公众想象的是风筝实验，而不是岗亭实验。因此，哲学家伊曼纽尔·康德把富兰克林称为“现代的普罗米修斯”。[注]

富兰克林在1752年10月写给柯林森的信中介绍了他的风筝实验。风筝的主体是两根交叉的雪松木条，上面系着一条丝绸手帕。风筝的顶端伸出一根细金属丝，连接着一条长长的绳子。在绳子末端、接近富兰克林手持处的位置，系有一把金属钥匙，钥匙下面连接着另一条丝绸手帕。风筝放飞时，富兰克林的手就抓着这条丝绸手帕。整个装置虽然非常简单，却可以驯服大自然的力量。[注]

风筝高飞时，一旦闪电击中风筝顶端的金属线，绳子就将电流传送到金属钥匙上。然后，钥匙与富兰克林就构成了一个“莱顿瓶”，可以传输、储存电荷。闪电释放的电荷一旦被引入莱顿瓶，就可以看出它与当时科学家使用的静电并没有什么不同。由此可见，富兰克林

的这个实验远没有那么可怕。由于富兰克林手握的那条丝绸手帕对于他的生命安全而言有至关重要的作用（富兰克林认为，正是因为这条丝绸手帕，电荷将驻留在那把钥匙上），因此他建议后来的实验者最好站在小型建筑物内，以保证身体和手握的丝绸手帕不会被暴风雨淋湿。㊟

这个实验的危险是显而易见的。富兰克林在风筝实验中把自己完全暴露在闪电面前，极有可能遭遇生命危险。1753年7月，科学家乔治·里奇曼（George Richman）试图在圣彼得堡的公寓里实施富兰克林的风筝实验，结果不幸意外身亡，用生命的代价证明了这个实验的可怕。里奇曼的讣告不仅介绍了他在科学界的声望，还告诫人们电学实验的危险性不可忽视。里奇曼受过良好的教育，是俄罗斯科学院圣彼得堡科学中心的会员，他的去世是科学界的一大损失。正如讣告所指出的，他很清楚“后果”，但他“希望抓住一切机会”，测量出“雷雨云”携带的电量。里奇曼的死亡以及实验显而易见的危险性，让有些人不禁怀疑富兰克林根本没有在暴风雨中完成他的风筝实验。这种疑虑直到今天也没有被打消。㊟

哈佛大学历史学家伯纳德·科恩明确表示富兰克林确实进行了风筝实验，但他也承认有人持不同观点。在1952年的一篇文章中，科恩提到了柯里尔与艾夫斯绘制的关于风筝实验的石版画，并指出这幅画是一个彻头彻尾的错误。最后，科恩总结道，对富兰克林风筝实验真实性的任何怀疑都没有“合理的理由”。科恩还说，有充分的证据证明其他人重现过这个实验，所以我们没有任何理由怀疑富兰克林。然而，质疑的声音一直存在。2003年，作家汤姆·塔克（Tom Tucker）出版了《命运的闪电》（*Bolt of Fate*）一书，明确地表达了自己的观点。塔克重点分析了富兰克林的恶作剧倾向，认为风筝实验是又一个经典的富兰克林式恶作剧。如果富兰克林不像他所说的那样亲自完成了风筝实验，这件事在很大程度上就是一种欺骗，人们也不可能接受像善意的恶作剧这样的解释。富兰克林没有理由撒谎，他只要提出

岗亭实验的构想并安排达利巴尔完成这个实验，就能赢得国际声誉。正如科恩所说的那样，富兰克林的风筝实验可能没有柯里尔与艾夫斯在石版画中表现出来的那种戏剧性效果，但我们不能因此断言他根本没做过这个实验。[注]

发明避雷针

富兰克林不仅是一位富有创新精神的实验科学家，他还非常善于将科学知识应用于实践。在1753年出版的《穷理查年鉴》一书中，富兰克林描述了他最重要的发明——避雷针，标题是“如何保护房屋等免受闪电破坏”。他首先指出，针对“雷电的恶行”，“仁慈的上帝欣然”为我们提供了某种程度的保护。具体来说，这种保护措施就是一种“小铁棒”，“一端插在潮湿的地里，深度为三四英尺”。[注]另一端则位于“建筑物的最高点，伸出的长度为6~8英尺”。接着，他补充说道，铁棒上端还应该连接一根一英尺长的黄铜电线。只要屋顶上装有这样的装置，他就可以保证房屋“不会受到闪电的破坏”，因为闪电会被“避雷针的尖端引过来，然后沿着金属线传导到地面，因此不会对任何事物造成破坏”。[注]

尽管在今天看来，避雷针没有任何难以理解的地方，有时甚至给人一种古朴的感觉，但它是人类在科学（发现闪电是一种电学现象）和技术（人类可以用它来挽救生命财产）这两个方面取得的一个来之不易的成就。同样，我们更不能低估它在人类与自然的斗争中的象征意义——它代表人类在哲学上可能取得的进步，以及胜利的天平正在向人类倾斜。

避雷针还告诉我们，政治在所有涉及技术的争论中可以发挥什么样的作用。英国人在避雷针的形状设计上曾有过不同意见，有人认为应该采用富兰克林提议的“尖尖的形状”，有人则倾向于英国科学家本杰明·威尔逊（Benjamin Wilson）的建议，认为应该采用“球形把

手”的形状。海尔布伦称这是一场“滑稽的战斗”。争论始于1772年，有人问英国皇家学会，如何让一个装满火药的军火库免受闪电的威胁？虽然威尔逊持有不同意见，但是英国皇家学会下设的委员会最后认定尖头避雷针的预防效果更好。然而，1777年，英国珀弗利特镇遭到雷电的破坏，尽管在兵工厂和其他建筑物附近都安装了尖头避雷针。当然，富兰克林所在的美国此时已经发动了独立战争。英国国王乔治三世也加入了这场争论，他要求英国皇家学会修改它的决定。科恩转述了英国皇家学会主席约翰·普林格（John Pringle）爵士的答复：“陛下可以修改国家的规律，但不能逆转或改变自然的规律。”毋庸多言，普林格因此丢掉了他在英国皇家学会的工作。海尔布伦说，站在“自然界的高度看，（球形和尖形）这两种避雷针的头都是一个点”，因此，这种争论是“滑稽可笑”、毫无必要的。当然，在这之后，政治仍然没有停止对科学研究的干涉。㊟

艰巨的外交使命

在科学界声名鹊起

作为一名美国外交家，富兰克林在法国享有盛誉，但是，我们在前面说过，越来越多的现代历史学家认为，富兰克林在国际科学界的良好声誉为他的外交生涯创造了便利条件。哈佛大学的美国历史教授乔伊斯·卓别林（Joyce Chaplin）说得更为直接：“不能说富兰克林是一名热衷科学研究的政治家，他从政是‘研而优则仕’的结果。这是因为在18世纪，科学已经成为公共文化的一部分。”㊟

有大量的文献资料可以证明富兰克林是一位蜚声国际的科学家。早在美国独立战争爆发与富兰克林前往法国之前，他的著作《电学实验与观察》（1751年）就已经有5个英文版本了，并被翻译成其他三种语言。此外，富兰克林还因其对科学的巨大贡献而获得诸多奖项和荣

誉学位。1753年，他获得英国皇家学会颁发的科学奖章——戈弗雷·科普利爵士奖章。在富兰克林获奖之前，只有英国皇家学会的英国国籍会员才可以获得这项殊荣。在他的一生中，富兰克林还获得过哈佛大学、耶鲁大学、威廉玛丽学院、圣安德鲁斯大学和牛津大学的荣誉学位。富兰克林先后成为英国皇家学会、德国哥廷根威廉皇帝协会（今马克斯·普朗克研究所的前身）和巴黎皇家科学院的会员。当时，法国科学院总共只有8名外籍会员，富兰克林就是其中一位。注

两次前往英国

然而，科学界的好名声并不能保证外交上百分之百的成功，富兰克林两次前往英国的经历就证明了这一点。两次任务中只有一次取得了成功，他遭遇的失败远远超过他取得的胜利。1757—1762年，富兰克林第一次来到英国，代表宾夕法尼亚州殖民地议会与威廉·佩恩（William Penn）的继承人进行谈判。此行他需要实现一个比较尴尬的目标：说服佩恩家族作为业主，同意殖民地政府向他们征收房产税，以增加殖民地的财政收入。乔伊斯·卓别林说，宾夕法尼亚州殖民地议会认为富兰克林在伦敦“享有盛名”的猜测是正确的，富兰克林的确“因为其电学天才、科普利奖章获得者和美洲著名哲学家的身份在伦敦大出风头”。尽管富兰克林的名声很好，但在1762年他的第一次任务接近尾声时，佩恩家族的一名成员指责他为“居心叵测的恶棍”。不过，1760年8月，“富兰克林赢得了胜利”，因为“英国枢密院的大多数成员都支持宾夕法尼亚州殖民地议会，而反对佩恩家族”。注

富兰克林在英国的第二次任务花费了更长时间，从1764年开始至1775年结束，为期11年。这一次，他需要解决的问题更加微妙，也更加危险，后来直接引发了美国独立战争。同第一次任务一样，富兰克林的第二次任务也是以一次枢密院会议的形式结束的。但是，与第一次不同的是，富兰克林的第二次英国之旅不仅颗粒无收，而且遭受了

巨大损失。虽然没有明确说明，但是那次枢密院会议的议程就是对富兰克林将英国任命的马萨诸塞州州长的私密信件公之于众的行为提出谴责。枢密院会议的到会情况通常都不是很好，但大多数政治精英都出席了这次会议，其中包括负责北美殖民地事务的国务大臣达特茅斯勋爵、坎特伯雷大主教、伦敦主教等重要人物，还有首相弗雷德里克·诺斯勋爵。会议委托副检察长亚历山大·韦德伯恩亲自询问富兰克林。著名的富兰克林传记作家布兰茨（H.W.Brands）写道，旁听席上坐满了人，“在他们的大笑和欢呼声中，副检察长对富兰克林的行为和性格进行了猛烈抨击”。韦德伯恩对富兰克林在电学研究上取得的成就进行了攻击，指责富兰克林在信件泄密这一事件中发挥了“导体”的作用。此外，富兰克林邮政局局长的身份也遭到了嘲讽。韦德伯恩说，今后他会“认为文化人是一个讽刺性称呼”。[注]

韦德伯恩的意思是，富兰克林和英属北美殖民地应该正确认识自己的身份。在英国人的心目中，殖民地在任何方面都不能与其相提并论。但是，富兰克林显然可以与最伟大的英国人相媲美，他在科学研究上取得的成就，即使按照英国人的标准，其创新性也足以令人称羡。此外，富兰克林出身于普通家庭，他的所有成就都是靠他自己的努力取得的。也许就是在那一天，所有人生而平等的理念开始在他的头脑中生根发芽。可以肯定的是，正是从那天开始，富兰克林的目光就坚定地转向了革命。

与法国结盟

枢密院会议结束后不久，回到英属北美殖民地的富兰克林又接受了另一项艰巨的任务：前往法国争取支持。对于70岁的富兰克林来说，这次法国之旅不仅是对他体力的一次考验，也是对他职业的一次考验。他要在恶劣的天气状况下坐船穿越险恶的水域，只有他的两个年幼的孙子陪他一起。他需要说服法国国王路易十六为英属北美殖民地提供货币和军事支持，从而摆脱英国国王乔治三世的统治。这显然

是一项非常艰巨的任务。但是，富兰克林接受了挑战，并最终成功地完成了任务。就这样，这位在电的发现上做出卓越贡献的科学家变成了为美国独立战争保驾护航的“避雷针”。在此后几百年的时间里，电力的开发和应用在美国取得了长足的发展。

富兰克林是如何完成这项艰巨任务的呢？法国人知道富兰克林，因为富兰克林不仅击败了法国科学家诺莱的电学理论，而且在富兰克林提出闪电是电的猜想之后，第一个成功证实这个猜想的实验——岗亭实验，也是由法国人在法国境内完成的。

尽管好名声帮助富兰克林迈出了成功的第一步，却不足以保证他取得成功。作为一名外交家，富兰克林不仅口才出众，而且目光敏锐。他清楚地知道，法国之所以愿意结盟，是因为法国有其自身的利益诉求，法国的政要也对他本人有所图。他明白，在法国能够呼风唤雨的那几个人都喜欢“在餐桌上”讨论问题，富兰克林正好长于此道。他不俗的谈吐既可以吸引人们的注意，又不会因过于标新立异而让人避之唯恐不及。富兰克林的外交家身份并不仅限于特定时间或者场合，还对他的生活方式产生了深远的影响。(注)

富兰克林成功地融入当时的欧洲文化，这对于一个美国人来说是极不寻常的。1757—1785年，富兰克林的大部分时间都是在欧洲度过的。历史学家莫里斯·毕夏普（Morris Bishop）认为，富兰克林在科学界的声誉为他敲开了“欧洲科学文化界”的大门，并最终帮他找到了“在学术上志趣相投的伙伴”。电学研究并没有沦落为无人关注的实验室工作，而是成为精英们在晚宴上津津乐道的热门话题。毕夏普指出，富兰克林的学术水平在他的国家几乎无人能及，“来到法国之后，他终于有了如鱼得水的感觉”。尽管国家不同，但是周围人好奇的目光还是让这位科学家、外交家备受鼓舞。(注)

富兰克林在事业上取得了巨大的成功，但他的个人生活却很痛苦。他的儿子威廉选择支持英国，并离开了他。富兰克林说：“在垂暮之年被自己唯一的儿子抛弃，真的让我悲痛欲绝、心如刀绞。”在整个美国独立战争期间，威廉都待在监狱里。独立战争结束后，威廉背井离乡，在伦敦度过了他的余生。注

富兰克林留给世人的遗产

法国经济学家杜尔哥用一句话精辟地概括了富兰克林的历史地位：“他从苍天处取得闪电，从暴君处取得民权。”取得闪电使富兰克林成为一名重要的科学家，取得民权则使富兰克林成为一位世人瞩目的政治家。他的双重身份赋予他独一无二的特点，人们在讲述历史时很难把他归到某一个类别之中。他到底是那个时代造就的幸运儿，还是造就那个时代的创新者呢？注

首先，他是那个时代造就的幸运儿。一方面是因为在他生活的那片土地，人们对自由的呼声益高，为他攀爬社会阶梯创造了便利条件。另一方面是因为科学革命已经开始，全社会的人都对科学产生了浓厚的兴趣。他凭借自己的成果跻身科学界的核心地位，而美国独立革命又把他推向了外交事务的舞台中央。其次，当富兰克林放弃印刷所的那份学徒工作和后来舒适安逸的中产阶级生活，并在好奇心的引领下开始进行科学探索和政治生涯之旅时，他实际上正在拉开富兰克林时代的帷幕。

富兰克林在265年前提出的电学核心理论与现代理论并不矛盾。今天，科学家认为所有的物质都是由原子组成的。按照人们对原子的基本（但不完整的）理解，电子围绕原子核运转，原子核则包含质子等其他粒子。电子和质子都带有电荷，人们主观规定电子带负电荷，质子则带正电荷。在这种原子结构中，富兰克林提出的异性电荷相互吸

引的规则是适用的。因此，绕原子核运动的电子会被质子吸引，正是因为这种吸引力，原子中的不同粒子被紧紧地吸附在一起。在大多数材料中，原子中的正电荷和负电荷数量正好相等，所以它们是电中性的。然而，在某些材料中，原子中的电子有可能被其他原子“拿走”。当这种情况发生时，掠夺者就会有多余的电子，原子间的平衡态势就会被打破。电其实就是这种不平衡情况的一个特征——电子的“运动”。

富兰克林在英属北美殖民地的地位是无人可及的。同时代的人，包括那些认识他和那些只听过他的大名的人，都承认他是一个天才。乔治·华盛顿在给晚年富兰克林的一封信中写道：“因为善行而受景仰，因为才华而被崇拜，因为爱国而受尊敬，因为仁慈而被爱戴，这一切将激起人们对你的亲切拥戴。你可以得到的最大安慰，就是知道自己没有虚度一生。”[注]

当富兰克林于1790年4月去世时，超过2万人参加了他的葬礼，这相当于费城一半的人口。法国国民议会史无前例地宣布为富兰克林的去世哀悼三天，巴黎皇家科学院的一位秘书用一句话概括了法国人民的感受：“一个人去世了，两个世界都在为他哀悼。”[注]因为失去富兰克林而深感悲痛的这两个世界，可能不仅是指旧世界和新世界，也指科学界和政治界。

---

1. I.Bernard Cohen,Science and the Founding Fathers: Science in the Political Thought of Thomas Jef erson,Benjamin Franklin,John Adams,and James Madison(New York: W.W.Norton and Company,1995),184–85.

2. “A Full and True Relation of the Death and Slaughter of a Man and His Son at Plough together with Four Horses ...Slain by the Thunder and Lightning.”London (1680);Israel Holly,“Youth liable to sudden death;excited seriously to consider thereof,and speedily to prepare therefor.The substance of a discourse,delivered on the day of the funeral of three young men,who were killed by lightning,at Sufi eld,” printed by Thomas Green (1766),accessed October 1,2016,

<http:quod.lib.umich.edu/e/evans/N08338.0001.001/1:1?rgn=div1;view=fulltext>;Jonathan Townsend,“God’s terrible doings are to be observed.A sermon preach’d at Needham,and occasion’d by the sudden and awful death of Mr.Thomas Gardner,by Lightning,” printed for Kneeland and Green (Boston,1746): 10.

3. I.Bernard Cohen,“Benjamin Franklin: An Experimental Newtonian Scientist,”Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences 5,no.4 (January 1952): 2;Joyce Chaplin,The First Scientific American: Benjamin Franklin and the Pursuit of Geniu(New York: Basic Books,2006),5;Cohen,Science and the Founding Fathers,174–95.

4. Michael R.Lynn,Popular Science and Public Opinion in 18th Century France(Manchester,UK: Manchester University Press,2006),43–44.

5. H.W.Brands,The First American: The Life and Times of Benjamin Franklin (New York: Doubleday Publishing Company,2000),22;James A.Dewar,“The Information Age and the Printing Press: Looking Backward to See Ahead.”Rand Corporation,2005,accessed October 1,2016, <http://www.rand.org/pubs/papers/P8014/index2.html#fn0>;Elizabeth L.Eisenstein,“In the Wake of the Printing Press,”The Quarterly Journal of the Library of Congress 35,no.3 (July 1978): 184,187–191; “Apology for Printers,”The Pennsylvania Gazette,June 10,1731,online atNational Humanities,accessed October 1,2016, <http://nationalhumanitiescenter.org/pds/becomingamer/ideas/text5/franklinprinting.pdf>.

6. Brands,The First American,33–34,88,166–67;Benjamin Franklin,“An Account of the New Invented Pennsylvanian Fire-Places,” 1744,online at National Archives,Founders Online,Franklin Papers,accessed October 1,2016,<http://founders.archives.gov/documents/Franklin/01-02-02-0114#BNFN-01-02-02-0114-fn-0027> .

7. George C.Lay,“Benjamin Franklin,”Godey’s Magazine,vol.133,no.796(October 1796): 339–43;Kerry S.Walters,Benjamin Franklin and His Gods(Urbana: University of Illinois Press,1999),44–45.

8. Cohen,Science and the Founding Fathers,136;Brands,The First American,187–206;Benjamin Franklin,The Autobiography of Benjamin Franklin,2nd ed.,ed.Leonard W.Larabee,Ralph L.Ketcham,Helen C.Boatfield,and Helene H.Fineman(New Haven: Yale University Press,1964),240–44.

9. Chaplin,First Scientific America,6,18;J.L.Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries: A Study in Early Modern Physics (New York: Dover Publications,Inc.,1999),1;Joseph Addison,Spectator 1,no.10 (1711): 44.

10. Chaplin,First Scientific America,94;Franklin,Autobiography,241－42.

11. Cohen,“Benjamin Franklin: An Experimental Newtonian Scientist,” 4,6.

12. Cohen,Science and the Founding Fathers,58;Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,5－6.

13. Franklin,Autobiography,241,note 4;Cohen,Science and the Founding Fathers,141－42.

14. Cohen,Science and the Founding Fathers,142;J.L.Heilbron,“Plus and Minus:Franklin’s Zero-Sum Way of Thinking,”Proceedings of the American Philosophical Society 150 (2006): 608;E.Philip Krider,“Benjamin Franklin and Lightning Rods,”Benjamin Franklin House,accessed October 1,2016,<http://www.benjaminfranklinhouse.org/site/sections/about_franklin/physicstoday vol59no1p42_48.pdf>.

15. Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,312－13;Heilbron,“Plus and Minus: Franklin’s Zero-Sum Way of Thinking,” 608;“Journal of the Franklin Institute,” vol.161 (January to June 1906): 253－56.

16. Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,313.

17. Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,287.

18. Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,314.

19. 1英尺≈0.3米。——编者注

20. Cohen,Benjamin Franklin’s Science,70;Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,340－41.

21. Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,346－48.

22. 1英里≈1.6千米。——编者注

23. Heilbron,Electricity in the 17th and 18th Centuries,349;Cohen,“Benjamin Franklin:An Experimental Newtonian Scientist,” 6.

24. I.Bernard Cohen,“The Two Hundredth Anniversary of Benjamin Franklin’s Two Lightning Experiments and the Introduction of the

Lightning Rod," Proceedings of the American Philosophical Society 96, no. 3 (1952): 332 – 36; Cohen, Benjamin Franklin's Science, 157.

25. "A Letter of Benjamin Franklin, Esq; to Mr. Peter Collinson, F.R.S. concerning an Electrical Kite," October 1, 1752, online atPhilosophical Transactions, accessed October 1, 2016, <http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/47/565>.

26. I. Bernard Cohen, "The Two Hundredth Anniversary," 333 – 36.

27. "An Account of the Death of Mr. George William Richman, Professor of Experimental Philosophy, a Member of the Imperial Academy of Sciences at Petersburg. Translated from the High-Dutch," Philosophical Transactions1755 – 1756, no. 49 (1755): 62 – 63, accessed October 1, 2016, <http://rstl.royal societypublishing.org/content/49/61.full.pdf+html>.

28. Cohen, "The Two Hundredth Anniversary," 331 – 36; Tucker, Bolt of Fate, 135 – 56.

29. Tucker, Bolt of Fate, 186 – 87.

30. Tucker, Bolt of Fate, 186 – 87.

31. Michael Brian Schiffer, Draw the Lightning Down: Benjamin Franklin and Electrical Technology in the Age of Enlightenment (Berkeley: University of California Press, 2003), 195 – 200; Heilbron, Electricity in the 17th and 18th Centuries, 380 – 82; Cohen, Science and the Founding Fathers, 169 – 70.

32. Chaplin, First Scientific America, 5.

33. The full text ofExperiment and Observations on Electricity is available online from the Smithsonian Institution, <http://library.si.edu/digital-library/book/experiment sobser00fran>.

34. Chaplin, First Scientific America, 156 – 57, 177 – 78; Brands, First American, 302.

35. Brands, First American, 472 – 74; Chaplin, First Scientific America, 237.

36. J onathan R. Dull, "Franklin the Diplomat: The French Mission," Transactions of the American Philosophical Society 72, no. 1 (1982): 26 – 27.

37. Morris Bishop, "Franklin in France," Daedalus 86, no. 3 (May 1957): 228 – 30.

38. “Benjamin Franklin to William Franklin,” Franklin Papers, August 16, 1784, accessed October 1, 2016, <https://journals.psu.edu/phj/article/viewFile/25468/25237>.

39. Cohen, Science and the Founding Fathers, 184–85.

40. Thomas Fleming, “Greatness Speaks to Greatness, One Last Time,” Journal of the American Revolution, August 29, 2013, accessed August 26, 2015, <http://allthingsliberty.com/2013/08/greatness-speaks-to-greatness-one-last-time/>.

41. Brands, First American, 715; “To George Washington from the National Assembly of France, 20 June 1790.” National Archives, Founders Online, Franklin Papers, accessed October 1, 2016, <http://founders.archives.gov/documents/Washington/05-05-02-0348>.

第2章　瓦特的蒸汽机

富兰克林驯服了闪电，瓦特则驯服了蒸汽……现在还不知道蒸汽机沦落为电的附庸需要多长时间。

——安德鲁·卡内基（1913）注

如果说富兰克林通过电力的普遍生产与广泛应用为世界的发展奠定了第一块基石，那么我们也可以说，詹姆斯·瓦特在工业革命期间完善蒸汽机技术的行为为人类的进步铺设了第二块基石。

乍一看，电和蒸汽似乎毫无关系。可以说，科学与技术各自的舞步真的令人难以捉摸，只有纵览历史，才可以看出两者之间高度的契合性。这种契合性在两个方面表现得最为明显。一个方面是，在全世界的电力生产过程中，第一个步骤大多是通过燃烧煤炭、天然气等燃料或者利用核反应中产生的热量来制造蒸汽。然后，利用这些蒸汽驱动涡轮机，使磁体在线圈中旋转，进而产生电，也就是富兰克林“看到”的电子“流”（后来，迈克尔·法拉第证实富兰克林没有看错）。

另一个方面是，蒸汽机大量出现在工厂中，不可避免地将工厂与机械动力的应用紧密地联系在一起，也为电动机的应用提供了同样广阔的舞台。这一转变标志着工业革命的开始。如果制造商不热衷于蒸汽机的机械动力，电动机可能就不会有取代古老动力系统的机会，人类也将无法获得电动机带来的巨大经济效益。

更广泛地说，蒸汽发电是一项技术，为我们提供了技术变革的早期范本。由于技术变革是解决现代社会几乎所有问题的一个手段，因

此我们有必要研究这个范本——一部由毅力、合作、专利和生产力共同演绎的蒸汽机技术发展史。

坚毅的匠人

在詹姆斯·瓦特去世多年之后，他的孙女婿詹姆斯·吉布森（James Gibson）博士给自己的岳父写了一封信，描述了瓦特早年沉迷于蒸汽研究的传奇故事。童年的瓦特体弱多病，为了让他变得健康，家人将他送到了农村。吉布森写道："吃饭时，长辈们发现瓦特坐在客厅的壁炉旁，手里拿着一个盘子……他把盘子伸向从装着沸腾茶水的水壶嘴冒出的蒸汽，然后认真地观察蒸汽接触冷冰冰的盘子后冷凝成水时盘子与壶嘴之间的距离。"吉布森怀疑这可能是瓦特"第一次见识到蒸汽的力量和灵活性"。瓦特在自己的实验笔记里也记录了他如何利用茶壶来研究潜热背后的科学原理，并因此取得他人生的第一个重大科学发现。我们也许不能断言瓦特走上创新之路与他童年时期的这段经历有着不可分割的关系，但他天生的好奇心、耐心的观察，以及对精确测量的浓厚兴趣，对他的科学研究来说大有裨益。注

1736年，詹姆斯·瓦特出生于苏格兰的格里诺克，并在那里度过了无忧无虑的童年。他的父亲是一名成功的商人、造船工人和木匠，因能制造精密测量所需的机械仪器而在当地小有名气。瓦特最先表现出来的是他超常的数学能力，他的阅读面也非常广，还可以在工作台上制作水泵和滑轮等机械装置的模型。1753年，瓦特遭遇了两大困境，先是他的母亲去世了，之后他父亲的财富又大幅缩水。家庭的经济损失使得瓦特急需一份工作，于是他把目光投到了数学仪器制造这个生计上。第二年，瓦特搬到格拉斯哥，成为约翰·安德森（John Anderson）和罗伯特·迪克（Robert Dick）的学生。这两个人都是格拉斯哥大学的自然哲学教授。1755年，瓦特前往伦敦，寻找短期学徒工作。数学仪器制造商约翰·摩根（John Morgan）为他提供了一年的

学徒期。1756年，20岁的瓦特回到格拉斯哥。因为他没有达到7年的学徒期，所以格拉斯哥的行业保护协会不同意他从事仪器制造工作，但是格拉斯哥大学允许他这样做。当时，这所大学大家云集，经济学家亚当·斯密和化学家约瑟夫·布莱克（Joseph Black）都在这里任职。格拉斯哥大学为瓦特提供了一个专门的工作室，让他从事仪器制造工作。从此，发明创造的大门向他敞开了。

一名仪器制造人员是如何成为世界知名的发明家和科学家的呢？要回答这个问题，先得从科学与瓦特终生从事的仪器制造工作之间的联系谈起。仪器制造人员是科学革命背后的“无名英雄”，所有领域的科学家都离不开这些“工匠”提供的工具。气象学家需要气压计，化学家需要实验分析工具，外科医生需要钳子和医疗设备。牛顿深入研究各种关系的测量和量化，并引发了科学革命，而仪器制造人员是测量数据精确度的重要保证。从本质上说，仪器制造人员提供的尖端设备是推动科学技术迅猛发展的重要因素。

格拉斯哥大学有一个蒸汽机模型需要修复。这个模型非常珍贵，是早期发明家托马斯·纽科门（Thomas Newcomen）设计的。1764年，约翰·安德森教授请瓦特完成它的修复工作。这台蒸汽机的结构非常简单：蒸汽被注入汽缸之后，就会推动活塞向上运动；蒸汽冷却后，活塞就会下落。活塞上下运动时，活塞杆也会随之上下运动，完成做功冲程。这台蒸汽机的常规用途是从矿井中泵水，煤矿井和其他矿井的排水需要，对蒸汽机技术改进提出了要求。正是这些改善采矿技术以充分开采矿藏的努力，使得工业革命在英国爆发，随后又向世界各地蔓延。

瓦特发现，纽科门蒸汽机的效率非常低。想让活塞上下运动做功，需要燃烧大量的煤才能产生足够多的蒸汽。瓦特亲手做了一些实验，结果发现了约瑟夫·布莱克的潜热理论。布莱克和瓦特各自发现，刚开始给水加热时，热量会促使水的温度升高，我们每次烧水时

也都可以观察到这个结果。然而，水温升高的情况与人们的预想并不相同。一旦温度达到212华氏度（100摄氏度），即水的沸点，水温就会保持不变。与此同时，水会变成蒸汽。作用于水并促使水温升高的那部分热量被称为“显热”，而将水以及其他液体转化为蒸汽等气态的那部分热量叫作“潜热”。布莱克之所以称其为“潜热”，是因为我们无法测量这些热量的温度。瓦特断定，纽科门蒸汽机汽缸里的蒸汽在每个冲程都会冷凝或者冷却，导致潜热流失，从而降低了蒸汽机的效率。[注]

瓦特设计了一个独立冷凝器，实现了重大突破。为了保持蒸汽机汽缸的温度，他打算把蒸汽抽到另一个独立容器中，让蒸汽在那里冷凝成水。瓦特在独立冷凝器中制造了一个真空环境，这样一来，蒸汽就会从汽缸涌进冷凝器，并在那里冷却，而汽缸的温度不会降低。1796年，约翰·罗比森（John Robison）教授在一次演讲中指出，瓦特之所以能够实现这个重大突破，是因为他综合运用了自己的多项天赋。罗比森说，在参观瓦特的仪器制造工作室时，“那些精致的仪器让我大开眼界……接下来，我看到瓦特变成了一名工匠，这没有出乎我的意料。但是之后，我却惊奇地发现，他还是一位哲学家。”罗比森接着说道，“他的双手把一切都变成了科学。”在瓦特眼中，科学本就是水到渠成的事情，但财富却难以掌控。[注]

改良蒸汽机

发明家往往需要找到外部投资者将他们的发明转化为商业上的成功。瓦特既不是第一个，也不是最后一个有这种需求的发明家。把蒸汽机模型变成可以真正从矿井中泵水的全尺寸发动机，还需要做大量的工作。瓦特的良师益友约瑟夫·布莱克再次向他伸出了援助之手。刚开始布莱克是自掏腰包，后来又把瓦特介绍给潜在的投资者约翰·

罗巴克（John Roebuck），帮助瓦特的研究顺利地进入了下一个阶段。当时，罗巴克的煤矿遭遇了严重的井下积水问题，而纽科门蒸汽机的泵水效率十分低下，无法解决这个问题。注

罗巴克在苏格兰中部低地的沿海城镇拜罗斯托尼斯附近拥有一个名叫金尼尔的庄园，他允许瓦特在这个庄园里制造全尺寸蒸汽机。但到了最后关头，罗巴克却没有办法继续为瓦特提供经济支持。1766年，在前进道路上屡遭挫折的瓦特被迫出售了自己的仪器制造工作室，并开始从事测绘工作，来维持全家人的生计。在此期间，瓦特认识了马修•博尔顿（Matthew Boulton）。当时，博尔顿在英国伯明翰市郊的索霍区创办了第一家大型制造工厂，已经是一位赫赫有名的成功商人。在瓦特后来取得的成就中，博尔顿发挥了至关重要的作用。注

1769年，瓦特取得了第一项蒸汽机专利。与其他法律一样，专利法也有其优缺点。在当代社会，我们更有可能想到拥有专利权的好处：专利是发明者的权利保证，既是一种保护，也是一种激励。但在瓦特的时代，人们对专利的看法却往往是负面的，认为专利有可能导致垄断，因此专利的数量不多。博尔顿等人建议瓦特为他的发明申请一项范围宽泛的专利，以防止其他人通过略微改动他的创意去获取不正当利益。注

当时的专利法导致瓦特、博尔顿跟他们的对手苦苦纠缠了30年。有人说，这是因为他们的专利客体太模糊了，受保护的对象是一个原理，而不是这个原理的应用技术。这个问题相当复杂，再一次反映了科学与技术的“舞步”的确令人难以捉摸。潜热这个全新的科学发现（或者更宽泛地说就是热力学）是否可以证明瓦特基于原理申请的这项专利是合理的呢？或者说，瓦特和博尔顿应该针对独立冷凝器这项具体技术申请专利？专利申请是否必须具体描述这项技术？如果进行了具体描述，一旦专利过期，其他人就可以利用并改良这项技术。关

于是否申请以及如何申请专利的问题，人们意见不一。这给瓦特带来了无穷烦恼，也曾让塞缪尔·摩尔斯头疼不已，直到今天仍然是一个不好决断的难题。2015年，《经济学人》杂志指出："今天的专利制度名义上是为了推动进步，实际上却为创新设置了重重障碍。"㊟

在全尺寸发动机的研发工作于1769年启动并成功申请专利之后，一系列的挫折接踵而至。时隔4年，祸不单行的惨剧在瓦特身上重演，他在关键时刻接连遭遇了两次严重的挫折。先是他的投资人约翰·罗巴克破产，导致瓦特在经济上捉襟见肘；接着，他的妻子佩吉又离开了人世，这对瓦特而言是一个沉重的打击。佩吉于1764年与瓦特结婚，9年后去世。当时瓦特37岁，他们生养的6个孩子还没有全部长大成人。

1774年，在发明独立冷凝器后的第9个年头，瓦特将他的蒸汽机搬到了博尔顿建在索霍的工厂。伯明翰是白手起家的创业者的天堂，是一个以自由创业、跻身上流社会的捷径和宗教信仰自由闻名的地方（富兰克林以及其他英属北美殖民地居民就曾受到这种自由精神的激励）。历史学家阿诺德·汤因比（Arnold Toynbee）说，当"亚当·斯密猛烈抨击企业制度时，他脑海里想到的可能是格拉斯哥行业保护协会不同意瓦特从事仪器制造工作的具体例子"。伯明翰是一个"自由城市"，这里的自由有助于他的事业得到蓬勃发展。1775年，英国政府将瓦特的专利有效期延展了24年，这让瓦特与博尔顿有了喘息的机会。㊟

随后，瓦特和博尔顿着手制造蒸汽机。他们招募了一些人手，其中包括约翰·威尔金森。威尔金森之所以被人称作"钢铁大王"，是因为他认为所有人都可以而且应该使用他制造的铁器。瓦特使用的锡质汽缸一直存在质量问题，威尔金森有一项专利技术，那就是炮筒镗床。利用这项技术，再用铁代替锡，就可以解决蒸汽机汽缸的质量问题。此外，博尔顿还招募了威廉·默多克（William Murdoch）。后

来，在康沃尔郡矿区（当时制造、使用蒸汽机的主要地区），默多克成了瓦特的得力助手。没过多久，瓦特宣称："我在这里从事的工作大获成功，也就是说，我制造的蒸汽机已经可以运转了，而且比其他蒸汽机的效率高得多。"纵观电力发展史，从其他行业借鉴创意和技能是技术进步的一个关键途径，即使在今天也是这样。注

瓦特是一位孜孜不倦的科学家和发明家，从未停下改进蒸汽机的步伐。作为商人，博尔顿则不停地申请专利。专利是当时政府推动技术进步的一个主要手段，这与今天政府直接为发明活动提供资金支持与税收补贴的做法明显不同。尽管如此，至少有一位投资人（博尔顿）为这项即将普及的技术提供了资金支持，推动它的发展进程。博尔顿提供给瓦特的不仅仅是经济上的支持，他的信心与远见也让瓦特受益匪浅。当罗巴克与瓦特第一次找他商讨在三个郡合作销售蒸汽机的事宜时，博尔顿没有同意，反而提出了一个非常大胆的想法："我们要面向全世界出售各种型号的发动机。"注

经济影响力

瓦特的蒸汽机对工业产生了前所未有的巨大影响。1913年，在瓦特获得第一项专利的144年之后，著名的钢铁大亨安德鲁·卡内基出版了詹姆斯·瓦特的传记。卡内基最初拒绝了出版商的请求，但他后来又改变了主意。他说："蒸汽机帮助我赚取了巨额财富，我为什么不用手中的笔，把这位蒸汽机制造者的生平记录下来呢？"鉴于这句话出自一位杰出的美国实业家之口，我们可以想见瓦特的蒸汽机对世界工业发展产生了何其深远的影响。注

历史学家埃里克·罗宾逊（Eric Robinson）强调说："别忘了，人们普遍认为瓦特的蒸汽机是工业革命的关键发明。"这项发明对工业的影响范围之广同样令人吃惊，不仅促使铜矿业发生了革命性的变

化，从根本上改变了棉花行业的状况，对钢铁行业也大有裨益。蒸汽机彻底消除了工厂在选址方面的局限性（例如，工厂不再需要依水而建），使规模经济得以实现。在做了进一步的改进之后，蒸汽机还被应用于火车和轮船，从而使交通状况也发生了翻天覆地的变化。[注]

卡内基在他写作的《瓦特传》中粗略计算了瓦特的经济影响力，用以说明蒸汽机对世界工业生产力的提升作用。卡内基认为，到1905年，世界上所有蒸汽机的有效功率大约为1.5亿马力，这个数字可能包括工厂和交通运输领域中的所有蒸汽机。最后，卡内基通过计算告诉我们，由于每马力相当于24个人的工作效率，因此1905年全世界的蒸汽机实现了36亿人（当时世界上成年男性人口的10倍）的工作效率。[注]

卡内基通过考虑这项发明对生产力的影响（也就是考虑一个人借助蒸汽机可以完成多少人的工作），来判断其经济影响力的做法是正确的。现代经济史学家也采用类似方法，分析并量化蒸汽机对生产力的影响，不过他们的精确度更高。此外，他们还会进一步估算生产力增长对经济增长的促进作用。在这种计算方法中，增加人口数量和机器数量会促使经济产生线性增长：如果使用相同工具的工人数量增加2%，经济产出也将增长2%。只有通过发明提高生产力，才能使一个国家居于领先地位。只有生产力增长（广义）才能让经济增速超过人口增速，从而增加人均收入，提高人们的生活水平。

尽管现代经济史学家在数据分析方面更加勤勉，但他们与卡内基观点一致，都认为瓦特的发明产生了颠覆性影响。这种影响至少可以通过两种方法来评估。第一种方法是评估它的直接影响：蒸汽机大幅降低了动力成本，蒸汽动力的使用率迅猛提高。据记载，在瓦特取得这项重大突破后的100年里，动力成本下降了近80%，蒸汽动力在美国所有动力应用中的占比高达90%，远远超过水能、风能等。[注]

第二种方法是评估它的间接影响。间接影响通常被称为“溢出效应”，其比直接影响更大，也更令人吃惊。溢出效应是指某项发明所引发的除了发明本身之外的其他变化。例如，蒸汽机制造商可以利用他们的蒸汽机技术，制造出效率更高的新型蒸汽机。斯坦福大学的经济史学家内森·罗森伯格（Nathan Rosenberg）和特拉维夫大学的曼纽尔·特杰腾伯格（Manuel Trajtenberg）指出，纺织行业就有过这样的案例。19世纪中期，乔治·柯利斯（George Corliss）对蒸汽机进行了关键的改进，使其能够精确控制动力输出，确保动力输出的均匀性。柯利斯在他的专利申请中引用了一个匹兹堡纺织品制造商出具的报告，声称“换用新型蒸汽机后，机器不会因为不规则运动而导致断线的问题，因此节省的费用与机器节省的燃煤费用差不多”。也就是说，蒸汽机不仅帮纺织品制造商节省了燃煤，还帮他们节省了线。此外，由于均匀的动力输出可以大幅降低浪费原材料的风险，因此在客户需求量有保证的前提下，一些纺织品制造商可以转而生产质量更高的纺织产品。注

然而，蒸汽机最引人注目的溢出效应是它彻底解决了水能利用的严重地理局限性问题。如果某个行业需要使用水能，工厂就必须靠近河流，这是一条铁律。但如果使用的是蒸汽动力，尤其是瓦特的发明大幅降低了燃煤用量，工厂选址就再也不会受到地理条件的限制了。这种新的自由还带来了其他好处，例如，在更接近用户或者技术工人密集的地区建厂。今天，历史学家认为，帮助工厂摆脱地理条件的限制将蒸汽机的发明与城市化进程联系在一起。从更宽泛的角度来看，它彰显了通用技术与经济增长之间的某种联系。注

瓦特留给世人的遗产

最能彰显瓦特在电学领域重要地位的东西莫过于我们每个月的电费账单。电费账单上会写明用电量，它以千瓦时（kWh）为单位。其中的大写字母W代表瓦特，它是功率的单位。

即使到了今天，蒸汽也是世界上大部分电力生产的基本原材料。这是瓦特留给我们的最显而易见的遗产。此外，瓦特还给我们留下了一个技术变革的范本。它告诉我们，把一个想法（通常是科学方面的）变成一个可应用于规模生产的成功技术，需要坚持不懈的精神。博尔顿有钱有权，这显然对瓦特的发明非常有利，但这并不是他和瓦特建立合伙关系的最主要原因。除了政治关系网和稳定的经济支持以外，博尔顿还提供了企业家所具备的前瞻性和自信心。

詹姆斯·瓦特于1819年8月19日去世，享年83岁。卡内基写道，瓦特就“安眠”在他的投资人、合伙人兼好友马修·博尔顿身旁。[注] 2011年3月，当英国央行把詹姆斯·瓦特和马修·博尔顿的肖像印在新版50英镑纸钞上，并配以瓦特的蒸汽机和博尔顿在索霍的工厂图片时，英国人并不吃惊。[注]

我们知道，专利、律师和法庭都是早期科研与发明活动必须关注的重要问题。与专利有关的诉讼不是现代特有的痼疾，而是从一开始就很普遍。博尔顿和瓦特称，1698—1793年，除了瓦特本人拥有的专利以外，他们还成功地申请了与蒸汽机有关的34项专利。后来，他们说自己还拥有其他十几项专利。当有人问他们为什么拥有这么多专利时，瓦特直言不讳地回答道：“在这个雄心勃勃的时代，我想我们肯定会遭遇（专利方面的）麻烦。一个想法刚刚被提出来，就会遭到剽窃。大自然似乎对垄断十分反感，为了防止垄断，它往往会把同样的想法同时注入多个人的大脑。”在依赖蒸汽动力的工业蓬勃发展的时代，痴迷于蒸汽机的不只是瓦特一个人。[注]

在评价电力科技进步的影响力时，我们绝不能把电力成本的变化作为唯一的考量依据，还应该综合考虑各种经济手段因此发生的革命性变化。瓦特既是他那个时代的弄潮儿，又是未来时代的引领者，因为他的蒸汽机对工业生产力产生了巨大的影响。瓦特是他那个时代的弄潮儿，因为他对蒸汽机的成功改进引发了工业革命。瓦特又是未来时代的引领者，因为他的蒸汽机被广泛采用，为100多年后电动机的迅速普及创造了条件。虽然瓦特没有预见到电动机的发明，但是发明、改进电动机的迈克尔·法拉第和尼古拉·特斯拉都是瓦特科学精神的继承人。

---

1. Andrew Carnegie,James Watt (Honolulu: University Press of the Pacific,1913),91－2.
2. Eric Robinson and A.E.Musson,James Watt and the Steam Revolution (New York:Augustus M.Kelley Publishers,1969),22,40.
3. J enny Uglow,The Lunar Men: Five Friends Whose Curiosity Changed the World (New York: Farrar,Straus and Giroux,2002),26－31;Carnegie,James Watt,19－20,35－36,38.
4. Uglow,The Lunar Men,27.
5. Uglow,The Lunar Men,98－99;Carnegie,James Watt,48－51.
6. Uglow,The Lunar Men,101－102;Robinson,James Watt and the Steam Revolution,24－25.
7. Uglow,The Lunar Men,103.
8. Uglow,The Lunar Men,68,103－104,132.
9. Robinson,James Watt and the Steam Revolution,11－13.
10. “Time to Fix Patents,”Economist,August 8,2015,accessed October 1,2016,<www.economist.com/news/leaders/21660522-ideas-fuel-economy-todays-patent-systems-are-rotten-way-rewarding-them-time-fix>.
11. Carnegie,James Watt,97,105;Uglow,The Lunar Men,17,19,21;Arnold Toynbee,Lectures on the Industrial Revolution of the Eighteenth Century in England:Popular Addresses,Notes and Other Fragments (New York: Longmans,Green,and Company,1908),52.

12. Uglow, The Lunar Men, 252 – 53, 289 – 91; Samuel Smiles, Lives of Boulton and Watt (London: William Clowes and Sons, 1865), 205.

13. Robinson, James Watt and the Steam Revolution, 62.

14. Carnegie, James Watt, Preface.

15. Robinson, James Watt and the Steam Revolution, 19; Nathan Rosenberg and Manuel Trajtenberg, "A General Purpose Technology at Work: The Corliss Steam Engine in the Late-Nineteenth-Century United States," Journal of Economic History 64, no. 1 (2004): 61, 63 – 65, 74 – 75, 92 – 94; "The Transcontinental Railroad: It's All About Steam," Linda Hall Library, accessed October 1, 2016, <http://railroad.lindahall.org/essays/locomotives.html>; "A History of Steamboats," U.S. Army Corps of Engineers, accessed October 1, 2016, <http://www.sam.usace.army.mil/Portals/46/docs/recreation/OPCO/montgomery/pdfs/10th and11th/ahistoryofsteamboats.pdf>.

16. Carnegie, James Watt, 195 – 96. 3.6 billion equals 150 million horsepower times 24 men per horsepower.

17. Nicholas Crafts, "Steam as a General Purpose Technology: A Growth Accounting Perspective," The Economic Journal 114, no. 495 (April 2004): 342.

18. Rosenberg, "A General Purpose Technology at Work," 74 – 75.

19. Rosenberg, "A General Purpose Technology at Work," 62 – 63, 80 – 83.

20. Carnegie, James Watt, 219.

21. "Bank of England to Issue New £50 note in 2011," Banknote News, June 22, 2009, accessed October 1, 2016, <http://www.bankofengland.co.uk/publications/Pages/news/2014/072.aspx>.

22. Robinson, James Watt and the Steam Revolution, 6, 8 – 9.

第3章　法拉第与麦克斯韦的电磁理论

整个电力工业就发端于这个简简单单的实验室玩具。

——皮尔斯·威廉姆斯（1965）注

在富兰克林和瓦特拉开了帷幕之后，雄心勃勃的迈克尔·法拉第又登上了电力发展史的舞台。他的科学实验在人类了解电与磁之间的联系上发挥了非常重要的作用，电与磁是自然界中最重要的两种力量。而且，法拉第还为新兴的电力工业提供了两项基本技术：1821年，他发明了第一台电动机；10年后，他又发明了第一台发电机。注

在职业生涯后期，法拉第又取得了一项伟大成就，奠定了现代电磁波理论的基础。至今，电磁场理论仍然在现代科学中占据核心地位，是大量现代通信技术的基础。如果说富兰克林是一位目光如炬、能见人所未见的天才，那么法拉第也是一位天才，因为他发现你我之间似乎空无一物的空间中并非空无一物，而是充斥着电磁波。

然而，法拉第既没有得到像本杰明·富兰克林那样持久不衰的显赫名声，也没有像詹姆斯·瓦特那样对科学技术产生即时影响。不可否认，他在科学研究上取得了革命性突破，但是在科学史上，他却是一位没有及时受到认可的英雄。因此，有两位传记作者认为有必要赋予法拉第应有的声誉。1965年，皮尔斯·威廉姆斯（Pearce Williams）说，他希望“全面展示法拉第的天赋，并在科学史上找到他的准确定位”。在威廉姆斯之后，詹姆斯·汉密尔顿（James Hamilton）在他于2002年完成的法拉第传记中说，他迫切希望“人们

以一种全新的方式看待法拉第，明确他在西方文化史中的核心地位”。㊟

人们普遍认为，科学与宗教之间曾有过旷日持久的争论战。在这样的历史背景之下，法拉第独树一帜，把他对上帝的深刻信仰与他对科学的坚定信念结合起来，成为一个整体。与此同时，法拉第与詹姆斯·克拉克·麦克斯韦的工作关系成了另一个亮点。麦克斯韦充满敬意地接受了法拉第关于电和磁之间关系的思想，并为其赋予了数学的严谨性和想象力，从而使物理学发生了翻天覆地的变化。麦克斯韦方程组是人类最伟大的科学进步之一。

陌生人的善意

和富兰克林一样，法拉第从小也接受了成为印刷匠的培训。1804年，13岁的法拉第成了伦敦乔治·里鲍（George Riebau）书店的学徒，这段经历对他产生了深远的影响。它给了法拉第阅读的机会，后来又让他有机会接触一些当时最重要的科学家。法拉第跟富兰克林一样，利用工作之便，阅读了大量书籍。在装订《不列颠百科全书》（*Encyclopaedia Britannica*）时，法拉第阅读了詹姆斯·泰勒（James Tytler）撰写的一篇介绍电的文章。这篇文章长达127页，主要参考了约瑟夫·普里斯特利（Joseph Priestley）于1767年出版的《电的历史与现状》（*The History and Present State of Electricity*）一书。不过，普里斯特利在这本轰动一时的著作中只介绍了他自己对电学的认识，而泰勒的文章则突破了这一限制。㊟

泰勒没有接受富兰克林认为电是一种流体的观点，而是把电看作一种“振动”，就像“石头被扔进池塘后激起的涟漪一样”。泰勒推崇自然力统一的理念，认为光、热和电“在本质上并无不同”。法拉第第一次阅读泰勒的文章时，并不完全相信泰勒的这套理论，但后来

法拉第却在他的研究中大量引用泰勒的理论，令人匪夷所思。在泰勒这篇文章的启发之下，法拉第决定开始做他的第一个实验。尽管法拉第需要的“实验设备”不过是两只瓶子，他也买不起。直到后来瓶子降价，他才得偿所愿。㊟

1810年，法拉第的父亲去世了。从此以后，里鲍就扮演起法拉第父亲的角色。当时，科学家们经常做公开讲座。在里鲍的鼓励之下，法拉第开始参加这些讲座。他听的第一个讲座的主讲人名叫约翰·塔图姆（John Tatum），他是一位老师、哲学家、银匠。他的演讲主题比较广泛，涵盖电学、光学、地质学、实验力学、天文学和化学等。㊟

法拉第认真地思考这些讲座的内容，不断增加自己的科学知识储备。在塔图姆的讲座上，法拉第做了详细的笔记，回家后他会重新整理这些笔记，加深理解。塔图姆的讲座不仅给法拉第提供了基础性科学教育，还给了他一个难得的机会。里鲍向一位熟人展示了法拉第做的讲座笔记，这位熟人看完之后深受触动，就给了法拉第一张伦敦城里最抢手的门票。拿着这张票，法拉第可以去英国皇家学院听当时最受欢迎的英国科学家汉弗莱·戴维（Humphry Davy）授业解惑。㊟

“欧洲大学”之行

戴维的讲座对法拉第的影响非常大。戴维是一位化学家，因为用电解法析出金属元素而闻名，拿破仑还为戴维颁发了一枚法国科学奖章，以表彰他的突出成就。1800年，一些化学家和电学专业的学生运用一种强大的新工具，获得了稳定的电力。这个工具被称为“伏特电堆”，它是电池的雏形，但在当时已经是功能强大的电源了。伏特电池的发明始于1794年。当时，意大利生物学家路易吉·伽伐尼（Luigi Galvani）正在做一组实验，希望了解电对动物会产生哪些影响，结果

却发现了一种新的电源形式。他注意到，当钢质解剖刀接触到用来固定青蛙腿的铜质装置时，青蛙的腿竟然抽搐了一下。他认为青蛙腿之所以抽搐，是因为青蛙的体内带电，他称为“动物电”。注

虽然亚历山德罗·伏特（Alessandro Volta）对伽伐尼的实验表示赞赏，但是对于青蛙腿抽搐的原因，他却给出了截然不同的解释。伏特通过一系列的实验证明，这些电实际上是由两种不同金属的接触而产生的，也就是说这些金属是“活性”电源。伏特把不同金属制成的金属板叠放在一起，然后在金属板之间放置潮湿导体，从而发明了伏特电堆。伏特电堆的理论基础是伏特提出的“接触学说”，即“不同的材料相互接触时，一种材料会带正电荷，另一种带负电荷”。伏特发明的这个装置可以产生正负电荷的流动，不仅为电学研究提供了效果非常好的电源，也大大促进了电化学的发展。注

在聆听戴维的讲座时，法拉第同样记录了大量的笔记，这些笔记也再次立功，帮助他赢得了认可。法拉第把自己的讲座笔记交给戴维，这个大胆的举动很快就有了效果：戴维雇用他做英国皇家学会的实验室助理。虽然这只是一个不起眼的职位，但它给了法拉第在各种各样的实验中与戴维合作的机会。戴维让法拉第陪他前往法国，去领取科学奖章。法拉第欣然同意，但事实表明，这次法国之旅让法拉第吃尽苦头。在出发前的一刻，戴维的男仆突然打了退堂鼓。这样一来，法拉第不仅要担任实验助手，还要完成男仆的职责，照顾戴维的饮食起居，对此法拉第没有任何心理准备。此外，戴维的妻子因为法拉第出身卑微而看不起他，对待他的态度十分恶劣。注

尽管如此，这次旅程仍然让法拉第受益匪浅。传记作家皮尔斯·威廉姆斯称，法拉第收获的是“欧洲大学”颁发的学位。法拉第走进了通常只有富人才能进入的场所，更重要的是，他结识了一些著名科学家，包括为电磁学研究做出早期贡献的安德烈－马里·安培（André-Marie Ampère）。法拉第甚至直接参与了戴维证明碘是一种

新元素的实验分析工作。历时18个月的旅行结束之后，戴维和法拉第回到伦敦。从那时起，虽然法拉第仍与戴维及其他科学家合作，但他已经做好了独立开创事业的各种准备。[注]

第一项成就：电动机

1820年，丹麦科学家汉斯·克里斯蒂安·奥斯特（Hans ChristianØrsted）发现了电磁感应，这个消息轰动了世界，也传到了戴维和法拉第的耳中。奥斯特的这个发现纯属偶然。在一次讲座中，奥斯特把电池连接起来，使电流从电线中通过。就在这时，他看到附近桌子上指南针的指针动了一下。用奥斯特的话来说，电线中的电流“扰动”了指南针的指针。由此，奥斯特发现，电路中的电流和指南针的磁针之间会产生吸引力（或排斥力）。英国皇家学会的科学家们证实了奥斯特的这个发现，并迫切希望解释其中的原理。英国皇家学会的另一位科学家威廉·沃拉斯顿（William Wollaston）四处发表演讲，法国科学家安培也迅速加入讨论的行列。但是，在短时间内，所有人都无法给出详尽的解释。[注]

1821年，《哲学年鉴》（*Annals of Philosophy*）的编辑理查德·菲利普斯（Richard Philips）邀请法拉第撰写系列文章，总结电学领域的研究现状。在为撰写这些文章做准备工作时，法拉第发现了电磁旋转现象，从技术角度来说，他完成了电动机的发明。奥斯特已经证明，电会对磁产生作用，法拉第则进一步证明电与磁之间是一种相互作用。法拉第把一个永磁体放到有电流通过的导线旁边，结果那根导线绕着永磁体的磁极旋转起来。这就是说，在磁的作用下，电能可以转化为机械能（电线发生了旋转现象），做机械功。从法拉第发现电与磁的基本关系直到现在，工厂和家庭使用的所有电动机都是基于这一发现设计而成的。[注]

1821年，法拉第发表了两篇论文。第一篇刊登在《哲学年鉴》上，题目是“电磁学简史”，试图解释奥斯特和安培的观点。在完成这篇论文之后，法拉第做了一些实验，并实现了他的第一个伟大成就。接着，法拉第又写了一篇16页长的文章，介绍他的独创性研究，题目是“关于一些新的电磁运动和磁学理论”。这篇文章发表在《科学季刊》（*Quarterly Journal of Science*）上，作者署名为英国皇家学会助理化学分析师法拉第。传记作家詹姆斯·汉密尔顿说，因为法拉第没有对戴维和沃拉斯顿的帮助表示感谢，所以这篇文章刚一发表，他就遭到“科学界的严厉斥责”，被暗讽为“仆人携带银器出逃”。(注)

这一事件造成了汉弗莱·戴维与法拉第师生反目的悲剧。英国皇家学会希望吸纳法拉第成为它的一名会员，却遭到戴维的百般阻挠。戴维声称法拉第剽窃了他的理论，不仅涉及电磁学，还涉及氯的液化。但是，在阻止法拉第成为英国皇家学会会员这件事上，戴维没有得到任何人的支持。1824年，法拉第以仅有一票反对的投票结果成功进入英国皇家学会。这个小插曲表明，由于从事科学研究的主体是人，所以它并不总是像人们所想的或者所希望的那样客观公正。(注)

第二项成就：发电机

在发明第一台电动机之后的第十个年头，法拉第又发明了第一台发电机。电动机利用电能完成机械运动，发电机则相反，通过机械运动产生电流。这两种技术的核心都是电磁感应。从1831年开始，法拉第发表了一系列论文，详细描述他的实验室研究成果，并且宣布：“我一直在考虑是否可以通过普通磁体得到电。这样做可能得到的结果以及取得成功的希望，时时激励着我在实验中探索电磁感应效应。最近，我得到了肯定的答案。”(注)

法拉第得到的确实是肯定的结果。他做的那些实验虽然简单，却可以系统地证明普通磁铁在金属线圈内移动会产生电流。这个原理是今天几乎所有发电厂成功运行的基础，也是把瓦特与电学联系在一起的纽带，因为让磁体来回运动的装置就是瓦特发明的蒸汽机。㊟

为了充分理解法拉第简单而睿智的想法，我们有必要深入研究他的一些实验。法拉第首先将两根电线缠绕在一根木棒上，其中一根电线与电池相连。当电池放电时，电流就会通过这根电线，法拉第将这部分组件称作“诱导线”。他把另一根电线与电流计连接，用来检测电流，法拉第将这个部分称为“感应线”。法拉第的目的是检验诱导线中的电流是否会使感应线中也产生电流。由于实验中使用的电池容量较小（因此它产生的电流非常弱），法拉第报告说他“根本无法观察到电流计的指针发生任何偏转”。这次失败是他取得成功的必经阶段，因为遭遇失败之后，他决定做两个全新的实验。㊟

在接下来的实验里，法拉第使用的装置是一个用软铁焊接的圆环，形状与甜甜圈相像。法拉第在铁圈的左右两边分别缠绕一根导线，左边的导线连接电流计，右边的导线连接电池。按照法拉第的预期，右边的诱导线（连接电池，有电流通过的那根导线）会磁化铁圈，进而使左边的感应线中产生电流。通过电流计，法拉第发现实验真的产生了这种结果，“而且强度远远超过线圈匝数增至10倍但不使用铁圈时的效果”。重要的是，电流计只能检测到短暂的电流。也就是说，只有在电源接通以及断开的瞬间，线圈中才可以检测到电流。㊟

最后，法拉第使用普通磁体做实验。当他把磁体放进一个空心线圈里时，电流计检测到了电流。由于他的目的是通过磁体在线圈中产生感应电流，因此实验中没有使用任何电池。不过，与其他实验一样，这次的感应电流同样非常短暂。如果让放在线圈中的磁体保持静止，电流计的指针就会回到初始的位置。当他把磁体从线圈中拿出来

的时候，电流计的指针又会转向相反方向。[注]于是，法拉第断定：“我认为，这些各不相同的实验，肯定可以证明普通磁体能产生感应电流。”事实上，时至今日，发电厂发电的关键就在于让磁体在线圈中运动。[注]

这场创造出第一台发电机的革命就这样悄无声息地发生了，没有任何大张旗鼓的宣传报道。有一次，时任英国首相的罗伯特·皮尔（Robert Peel）前往法拉第的实验室访问。皮尔问法拉第，他的发明可能会产生什么样的影响。皮尔的问题很直白，法拉第回答说：“我不知道，但我肯定你的政府会对它征税。”今天，我们知道法拉第在实验室中完成的那些实验非常重要，远不只是一个新的税收来源。法拉第发现了电磁感应，并发明了第一台发电机。威廉姆斯断言：“整个电力工业就发端于这个简简单单的实验室玩具。”[注]

第三项成就：电磁波

获得两大成就之后，法拉第对科学的贡献仍未停止。通过前面介绍的那些实验，法拉第证明了磁可以产生感应电流，也就是说，当磁体在线圈中来回移动时，线圈中就会持续产生可检测到的电流。后来，法拉第又证明电流也能产生感应电流。当一根导线上有电流通过时，可以在附近的导线中产生可检测到的电流。这种电—电感应为变压器技术的发明创造了条件。如今，变压器的应用十分广泛，可以增加或降低电流的电压，以提升电力传输的效率和电力应用的安全性。由于在电磁感应方面取得的研究成果，法拉第获得了英国皇家学会的最高奖——科普利奖章。本杰明·富兰克林也曾获此殊荣。[注]

为了实现他的第三项成就，法拉第把研究目标转向了另一个重要的科学问题：力是如何传递的？简单地说，磁力是如何从磁体到达导线的？电力是如何从一根导线到达另一根导线的？在牛顿力学体系

中，答案可以用“超距作用”这个词来概括。人们认为引力的作用有距离限制，作为一种力，引力只取决于受影响物体的质量和它们之间的距离。牛顿力学认为，这些物体之间充斥着真空（通常被称作“以太”）。电学研究利用库仑定律来表示牛顿力学的这个观点，认为物体之间的电力取决于物体的电荷量和物体之间的距离。[查尔斯－奥古斯丁・库仑（Charles-Augustin de Coulomb）是1736年出生的法国物理学家。]注

法拉第离经叛道的理论使科学界发生了翻天覆地的变化。他驳斥了超距作用这个在牛顿力学中占据核心地位的概念，指出力不是通过真空传递的，而是通过空间中的粒子相互传递的。在麦克斯韦和爱因斯坦各自独立完成的现代场理论研究的推动之下，法拉第的这个观点最终变成了主流理论。借助这些后来科学家的研究，法拉第的理论为电磁波研究奠定了基础，电磁波是现代通信技术的基础。注

在任何年代，法拉第建立这些突破性理论的历程都足以令任何有志于科学发现、科学创新的人为之折服。例如，他的探索始于化学，而不是物理学。即使在今天，像他这样“跨界行动”从而取得重要突破的现象，在科学或商业领域仍然很常见。

1836年1月，法拉第在英国皇家学会礼堂完成了一个与超距作用有关的“壮观”实验。他建造了“一个边长12英尺的大立方体”，上面覆盖着一层“传导材料”。法拉第把这个“笼子”放在绝缘“支架”上，然后“不断给它充电，直到火花四射”。而法拉第本人一直“心平气和地”坐在笼子里。种种迹象表明，笼子里没有电。法拉第设计这个笼子以及其他许多不那么引人注目的实验，目的就是告诉人们，尽管“带电物体或电火花”相互吸引或者排斥，但是“在这些物体内部并不存在这些”吸引力或排斥力。相反，“这些力都存在于周围的空间里”，也就是说，存在于带电物体之间的真空中。这个实验看起

来非常危险，必须有极大的自信心才敢参与其中，但在法拉第的科学生涯及个人生活中，对不可见事物笃信不疑的事例并不鲜见。(注)

科学与信仰

宗教是影响法拉第的“最早也是最重要的因素之一”。法拉第所在的教派是苏格兰牧师罗伯特·萨德曼（Robert Sandeman）创建的，信徒们称为萨德曼教派。当时，英格兰各地教派林立，萨德曼教派就是其中之一。传记作者詹姆斯·汉密尔顿说：“萨德曼教派在布道时通常严格遵循《圣经》的字面意思。”信徒们只信奉一个神，那就是上帝。威廉姆斯说，尽管法拉第宣称他将科学和宗教区别对待，“但是他对物理世界的最深刻的直觉都来自上帝创世这个宗教信仰”。既然只有一个上帝，法拉第自然希望自然力也只有一种。因此，找到自然界中各种力量之间的联系，在法拉第的科学研究中占据了非常重要的地位。(注)

法拉第在谈论上帝时从不避讳谈论科学，反之亦然。他说他发现的各种力是“第二推动力”，而排在第一位的是“创造各种奇迹、统治世界”的“造物主”。威廉姆斯指出，法拉第认为，一个人的最高使命应该是探求“上帝创世的相关知识”。在一次关于科学教育重要性的演讲中，法拉第对自己的科学信念和宗教信仰进行了总结。他说，我们确实可以用“奇妙、美丽”这样的词语来形容电，但它“与自然界中的其他力量并无不同”。在说到人类对大自然的统治时，他说，大自然的奥秘令人为之倾倒，但是“它有规律可循”，因此“受教育的人甚至可以在很大程度上支配它”。最后，法拉第表示科学教育“应当受到推崇”，因为“它为人类送来了上帝赐予的礼物”。(注)

谦逊是信仰带给法拉第的副产品。法拉第认为自己有机会从事手头的工作，是一件值得庆幸的事，这种态度在他的书信和工作中都表

现得十分明显。法拉第说过：“我认为，在所有知识中，我的观点是不完善的，我的判断也是不完美的。在实验中，我得出的结论即使没有全错，也肯定不是完全正确的。”法拉第对人类错误（包括他自己的错误）的宽容，是他坚持做科学研究的动力。注

然而，令人遗憾的是，随着年龄增长，法拉第的记忆力逐渐衰退。在谈到自己的记忆力时，法拉第说他“有时会忘记刚发生的事，有时又以为很久以前发生的事是刚才发生的”。他还说：“过去的就这样过去了，再也记不起来；未来就这样来了，没有想象，也没有任何预测；即使现在，它在我的脑海中也只是影影绰绰的。”1860年，年近70岁的法拉第写道：“当我试图从事科学写作时，却发现头脑里一片混乱，只好黯然搁笔。”同时代的德国物理学家希滕贝格（Lichtenberg）认为，记忆力衰退是一段令人伤感的经历：“如果记忆力没有问题……无论是20岁，还是30岁，所有人在一起都能亲密合作。一旦某人记忆力衰退，他就会越来越孤独，跟他年纪相仿的人都会离他而去，并且嘲笑这个无助的老人。”1861年，法拉第向英国皇家学会递交辞呈，辞去他承担的部分工作。在信中，他回顾了自己作为会员的49年时光，并对皇家学会的管理人员表示感谢。他说，他们的友善让他的“生活十分幸福”。在信的结尾，法拉第说他正处于“缓慢衰退”的阶段，但他仍然觉得“这样的晚年生活”是“上帝的赐福”。注

由于法拉第没有像瓦特那样申请专利，也不热衷于物质利益，因此他的那些发明并没有让他步入富人的行列。幸运的是，他对科学的贡献得到了英国政府的肯定和认可。1858年，维多利亚女王把汉普顿宫的一套房子奖给了法拉第，表彰他一生对科学的热爱。法拉第的晚年就是在这套房子里度过的。注

法拉第的科学成果就其自身而言非常重要且引人关注，但事实上，如果不考虑他的信仰，这些成果是我们无法完全理解的。他的信

仰驱使他去寻找一种看不见的力量，也促使他相信这些看不到的东西。这种信仰还给了他从事科研和面对生活的勇气，尤其是在疾病缠身的晚年。1861年，法拉第在一封信中谈到了死亡："这份平和是上帝赐予我们的礼物，既然是上帝赐给我们的，我们为什么要害怕死亡呢?"1867年8月25日，法拉第离开了人世。注

麦克斯韦与电、磁、光

麦克斯韦把法拉第对电与磁之间关系的见解推进了一步，单凭这个贡献就足以让他长时间地位于著名科学家之列，但是他的成就不止这一个。麦克斯韦发现光波也是电磁波，所有的电磁波都以光速传播。因此，麦克斯韦将电、磁和光相结合，形成一个统一的理论。在早期科学家中，至今名声仍如日中天、所创立理论仍是现代科学之基础的人并不多见，麦克斯韦就是其中之一。就连爱因斯坦在追溯自己伟大成就的源头时也对麦克斯韦赞誉有加，他说："詹姆斯·克拉克·麦克斯韦终结了一个科学时代，同时开启了另一个科学时代。"注

科学神童

1831年，麦克斯韦出生于苏格兰爱丁堡，14岁时就进入了科学界。他的科学道路始于一个简单的游戏。他先把一根大头针固定到纸上，然后取一根细绳，一头绑在大头针上，另一头绑在一支铅笔上。用这种方法，他可以画出圆形。如果再加一根大头针，画出来的图形就是椭圆。他不断地增加大头针的数量，画出各种不同的图形。之后通过进一步的研究，麦克斯韦为他画出的那些图形一一列出了数学方程式。他的父亲把麦克斯韦的成果拿给他的朋友詹姆斯·福布斯（James Forbes）看，这位爱丁堡大学的自然哲学教授后来就成了麦克斯韦的导师。福布斯及其数学系的一位同事就此进行了调查，以确

认之前是否有人做过类似的工作，结果发现法国著名数学家、哲学家勒内·笛卡儿有过类似的研究。此后不久，福布斯教授在爱丁堡皇家学会会议上展示了麦克斯韦的论文，而麦克斯韦因为太年轻，无法出席会议。注

19世纪中期，麦克斯韦接触了大量的尖端科学技术。在叔叔的带领下，他参观过著名的眼镜商威廉·尼科尔（William Nicol）的工厂。此外，麦克斯韦还去过他堂姐家。他的堂姐夫休·布莱克本（Hugh Blackburn）是格拉斯哥大学的数学教授，与后来成为英国最著名科学家之一的自然哲学教授威廉·汤姆森（William Thomson）是好朋友。汤姆森和法拉第对麦克斯韦的成长产生了极其重要的影响。注

1847年，16岁的麦克斯韦开始到爱丁堡大学听课。在那里，他阅读了大量数学书籍，还学习了各种各样的科学研究方法，其中包括受到大卫·休谟赞赏的方法。休谟认为，数学应该是所有科学真理的基础，任何没有数学支持的理论都只是推测。麦克斯韦把他的两项数学研究写成了论文，但是，由于年龄小，他仍然无法在爱丁堡皇家学会会议上亲自展示自己的论文，而只能由他人代劳。三年后，也就是1850年，麦克斯韦离开爱丁堡，进入剑桥大学三一学院就读。在大学期间，麦克斯韦对电磁学产生了浓厚的兴趣。注

“让整个世界为之改变的人”

在麦克斯韦100周年诞辰时，爱因斯坦明确指出，麦克斯韦和法拉第共同颠覆了物理科学。他说：“自牛顿奠定经典物理学的基础之后，物理学公理体系（换言之，就是我们头脑中现实结构的概念）所发生的最大变化，就是法拉第和麦克斯韦对电磁现象的研究。”爱因斯坦接着解释说，牛顿体系把现实描述为物体之间的相互作用（“质点”以及质点间的“作用力”）。随后，麦克斯韦让人们对自然的主

流观点发生了变化，物体间的相互作用力被无处不在的电磁波取代。因此，法拉第和麦克斯韦的研究成果使物理学发生了彻底的变化。(注)

1855—1865年的10年间，麦克斯韦完成了三篇论文，极大地提高了人类对电与磁之间关系的认识，并从根本上改变了物理学。他的传记作家巴兹尔·马洪（Basil Mahon）说，麦克斯韦可以被视为“让整个世界为之改变的人”。1855—1856年，麦克斯韦把他的第一篇关于电和磁的伟大论文分成两个部分发表，题目是“论法拉第力线”。1861—1862年，他又分两次发表了他的第二篇论文《论物理力线》。1865年，他发表了论文《电磁场的动力学理论》。8年后，也就是1873年，麦克斯韦发表了一篇有一本书厚度的论文，也是他的代表作《电磁学通论》。(注)

从标题就可以看出，麦克斯韦的第一篇论文是支持法拉第的理论的。法拉第说过，两个物体之间的空间充满了被他称为“力线”的东西，结果遭到大多数科学家的反对。公开承认自己是“实验天才”法拉第拥趸的麦克斯韦认为，肯定可以很容易就找到物理证据来证明这个现象。事实证明，他是正确的。只需在磁铁周围撒上铁屑，观察这些铁屑在磁铁周围的排列模式，就可以清晰地看到这些力线。麦克斯韦完成他的第一篇论文《论法拉第力线》之后给法拉第写了封信，对后者表示感谢，并且说力线理论可以经受住严格的数学证明令他深受触动。(注)

一个动听的故事

人们可能以为麦克斯韦的功劳只是将法拉第的思想简单地转化成数学语言，为了让法拉第的思想能够被当时的数学家接受。学者托马斯·辛普森（Thomas Simpson）从一个独特的视角，对《电磁学通论》进行了剖析，结果发现麦克斯韦的数学表达不仅仅是对法拉第思想的简单诠释，而是“提供了一种看待物理过程的全新方法……是一

个富有诗意的构想”。借助数学语言，麦克斯韦娓娓道来，不断深入，数学的严谨性使他的“故事”更加可信。事实上，正是凭借数学推理，麦克斯韦最后得出了一个令人惊讶的结论——光本身就是一种电磁波。(注)

在论文中，麦克斯韦证明法拉第的观点是正确的，即物体之间的所谓“真空”实际上并非空无一物。为了解释空间不空的重要性，我们可以想象有两个人分别站在蹦床的两端。第一个人双腿弯曲，跳跃到空中，然后重重地落在蹦床上。此时，站在蹦床另一端的那个人就会被弹起。为什么呢？是因为牛顿所说的超距作用吗？也就是说，是第一个人的重量以及他与第二个人之间的距离，使得第二个人被弹起来了吗？还是第一个人对蹦床结构（相当于物体之间的“真空”或“以太”）的影响传递到第二个人所在的位置，进而使得后者被弹起来了？按照法拉第和麦克斯韦的理解，第一个人对蹦床的作用力是第二个人被弹起来的原因。也就是说，发生这个动作的空间看似空无一物，但实际上并非如此。

在应用这个观点具体研究电和磁的特性时，法拉第和麦克斯韦认为，磁针运动的直接原因不是导线中有电流通过，而是因为电流对磁针与导线之间的空间产生了某种影响。那么，在这个“空荡荡”的空间里到底有什么呢？这里的“蹦床”是什么样子？事实上，空间里到处都是相互交织的电场和磁场。为了看到这个复杂的结构，麦克斯韦对牛顿学说又进行了一个颠覆性的改变：从能量的角度思考这个问题。第一个人弯曲双腿向上跳跃，该动作产生的能量对蹦床结构造成了影响，进而使得第二个人被弹起。因此，第二个人被弹起的原因并不是牛顿学说中的作用力——既不是吸引力，也不是排斥力。(注)

从法拉第研究中的一个未解之谜可以看出，选择能量而不是力作为研究的重点，对于麦克斯韦来说具有非常重要的意义。回想一下，只有让磁体在线圈中运动，法拉第才可以实现他想得到的结果——磁

力产生感应电流。为了解释这个现象，麦克斯韦认真研究了势能（第一个人摆好姿势准备跳起时储存在他双腿中的能）与动能（与他的动作有关的能）之间的区别，并发现有“能力”做功、产生能量的是动能。因此，法拉第只有让磁体在线圈中运动才可以产生感应电流。

麦克斯韦对电磁波的认识表明，电和其他形式的能量之间有着根本的区别。电就好像汽车使用的汽油，想象汽油从加油站的油枪流进汽车油箱的情景。如果电源插座就相当于那个油枪，为什么电不会源源不断地从插座中流出呢？

这是因为电是电子的运动，而不是流体的运动。更准确的办法是，把电子想象成一个接一个整齐排列的多米诺骨牌。用手指轻推第一个骨牌，它一倒下，后面的所有骨牌也会相继倒下。能量不是通过推倒第一个多米诺骨牌来传递的，而是通过一个接一个倒下的骨牌依次传递的。把家用电灯或者企业用电动机的电源插头插入插座时，电子才会“流动”。要消耗电能，电源和用电设备缺一不可。注

与拉格朗日数学的完美契合

麦克斯韦并不是从零开始，独自搭建起那个帮助他“改变整个世界”的数学体系，而是借鉴了其他人的数学成果。最重要的是，麦克斯韦被带入了法国数学家约瑟夫－路易斯·拉格朗日的数学世界。拉格朗日对某个系统的完整数学描述，正好适用于麦克斯韦希望提出的理论。麦克斯韦利用拉格朗日数学的目的是，测量微小变化（例如，线圈中的电流发生微小变化）对总能量的影响。数学家定义的“偏导数”就可以用来表示某个数量发生微小变化时总能量发生了多大变化。麦克斯韦承认，单一变化的影响取决于当时整个系统的状况。注

麦克斯韦之所以舍弃牛顿力学，而选择拉格朗日数学，是因为物体质量这个概念已黯然失色，不再是理解物理世界的主要方法。辛普

森说，麦克斯韦不必像牛顿那样重视质量这个概念（牛顿认为物体因为质量而产生作用力）。运动可以用物体的变化来解释，但麦克斯韦不需要知道这些物体到底是什么，他可以根据这些物体的实际属性进行抽象化处理。注

麦克斯韦舍弃了牛顿力学，也意味着他可能会把聪明又充满好奇心的读者拒之门外。为了在不借助数学知识的情况下解释他的颠覆性观点，麦克斯韦提出了“敲钟人”这个思想实验。设想房间里坐满了敲钟人，每个人手上都抓着一根钟绳。钟绳穿过天花板的孔洞与房间外面的钟连接，所以敲钟人看不到他们敲打的是哪个钟，也不知道这些钟彼此是否有联系。注

“敲钟人”实验是如何帮助非专业人士理解麦克斯韦的惊人科学成果的呢？钟和敲钟人分别代表什么呢？首先，它告诉我们，要听懂演奏出来的乐曲声，我们不需要知道这些钟是通过什么复杂的方式联系在一起的。同样，在理解麦克斯韦系统中产生的总势能和总动能时，我们也不需要知道自然界的复杂机制。

其次，实验表明，我们仅通过绳子所处的位置和拉动绳子的速度就可以知道将会演奏出什么样的乐曲。同样，当电荷处于特定的“位置”和“速度”时，我们也会知道总能量将发生什么样的变化。再次，敲钟人某一次拉动钟绳时所产生的效果，与当时其他所有钟所处的状态有关。同样，电荷导致总能量发生变化也具有类似的特点。注

最后，这是一个动态系统。敲钟人必须拉动钟绳才能产生某种效果，法拉第也必须让磁体在线圈内来回移动才能产生电流。事实上，法拉第就是在帮麦克斯韦求偏导数。注

光也是一种电磁波

麦克斯韦借助拉格朗日数学取得的成果产生了颠覆性影响。麦克斯韦取得的最直接成果就是动力系统观，他认为这是理解电磁波的唯一方法。为了正确理解麦克斯韦的电磁波理论，我们可以先回顾一下奥斯特效应和法拉第电磁感应定律：奥斯特发现了电流的磁效应，而法拉第发现了电磁感应现象。更具体地说，奥斯特发现电流周围存在磁场，而法拉第发现变化的磁场将“产生电场”。如果电场真的会产生磁场，磁场真的会产生电场，电场和磁场就必然会以跳背游戏的方式，不断在空间中延伸。因此，将奥斯特效应和法拉第电磁感应定律结合在一起，就会得到完整的电磁波概念。注

按照麦克斯韦的构想，电磁波包含电场发出的平滑的振荡波（或正弦波）与磁场发出的正弦波，两者相互耦合。我们可以把正弦波想象成使用消防滑杆下滑的人。这个人不是垂直滑向地面，而是旋转下滑。电磁波的空间传播方式使麦克斯韦大受启发，也使他的研究得出了一个令人惊讶的结果：所有的电磁波都以同样的速度传播。然而，速度是一个观测概念，而不是理论概念，所以速度必须通过实验来确定。麦克斯韦认为，既然电磁波的传播速度是光速，那么光本身也是一种电磁波。有了这一伟大的发现之后，麦克斯韦于1861年将电、磁和光这三种最重要的物理现象联系到了一起。注

法拉第与麦克斯韦留给世人的遗产

法拉第和麦克斯韦揭示了科学研究对电力行业发展的重要性、个人品格对科学家的重要性，以及电学研究对科学进步的重要性。这些，就是他们留给世人的宝贵遗产。首先是科学研究对电力行业发展的重要性。法拉第在1821年发明了简单的电动机，在1831年发明了简单的发电机，为富兰克林和瓦特的发现和发明提供了非常重要的科学技术支撑。对科学的这种依赖使电不同于其他大多数常规能源，包括

用作汽车燃料的石油、用于家庭取暖或用作化学原料的天然气，以及用作发电燃料的煤炭。这几种也都是非常重要的能源，都对重要的技术进步起到了推动作用。但是，这些能源的开采和使用，不需要我们在密切联系自然结构的前提下通过科学的方法加以理解。

其次是个人品格对科学家的重要性。有趣的是，法拉第和麦克斯韦在科学道路上取得成功的过程迥然不同。法拉第几乎没有接受过正规教育，只能依靠公开讲座和简单的实验来提高自己。与此形成鲜明对比的是，麦克斯韦从小就从英国和苏格兰的著名大学以及苏格兰皇家学会那里获取知识和支持。尽管如此，麦克斯韦这位年轻的数学天才，却选择认同法拉第这位出身平凡却富有远见的实验人员的观点。实际上，麦克斯韦似乎认为，他最终得出光是电磁波这个令人吃惊的结果，应归功于法拉第。麦克斯韦说：“（法拉第）提出的光是电磁波的观点，和我在论文中首次提出的这个观点没有本质区别，只不过在1846年他没有办法利用数据来计算传播速度。”这两个人都表现出极大的勇气，都敢于与当时公认的理论背道而驰。他们证明了空旷的空间中并非空无一物，而是充满了电磁波，这与受众人推崇的牛顿理论不一致。只有科研进程不受任何因素的干扰，把全部注意力集中在探求真理之上，才可以被载入史册。法拉第和麦克斯韦就具备这样的品格。[注]

再次，是电学研究对科学进步的重要性。人们的研究兴趣并不仅限于了解电的奥秘，而是非常广泛，希望了解自然界的所有力量。换句话说，电学研究不仅仅是科学前进道路上的一个站点，其本身就是一条道路。从这个意义上说，富兰克林时代是一个令人敬畏的时代，一个科学发现层出不穷的时代。

法拉第和麦克斯韦都是富有创造力和献身精神的科学家，时至今日，他们的研究成果仍与我们的生活息息相关。自电力行业及无线通信行业诞生之日起，他们提出或者受他们启发产生的技术就为这两大

行业的发展提供了支持，而且这种状况一直持续到今天。他们所提出的科学理论彻底改变了物理学，从更广泛的意义上讲，甚至颠覆了人类对自然的理解。自他们之后直至爱因斯坦时代，物理学上的所有重大进步（包括爱因斯坦提出的那些著名理论）都可以追溯到法拉第和麦克斯韦。他们在为人处世方面表现出来的高尚品格和谦逊态度，必将激励所有科学家和所有人为追求真理而无私奉献。

---

1. L.Pierce Williams,Michael Faraday: A Biography (London: Basic Books,1965),196.
2. J ohn Meurig Thomas,“Faraday and Franklin,”Proceedings of the American Philosophical Society 150,no.4 (2006): 532–33;William H.Bragg,“Michael Faraday,”The Scientific Monthl 33,no.6 (1931): 487–89.
3. Williams,Michael Faraday,xi;James Hamilton,A Life of Discovery: Michael Faraday,Giant of the Scientific Revolutio (New York: Random House,2002),xi.
4. Williams,Michael Faraday,8,14.
5. Williams,Michael Faraday,14–15.
6. Williams,Michael Faraday,10,16.
7. Williams,Michael Faraday,16,25–26.
8. Williams,Michael Faraday,20–25.
9. Howard J.Fisher,Faraday’s Experimental Research in Electricity: Guide to First Reading(New Mexico: Green Lion Press,2001),15–16.
10. Hamilton,A Life of Discovery,37–38,50;Williams,Michael Faraday,19,31,40–41.
11. Williams,Michael Faraday,31,34–35,42.
12. Williams,Michael Faraday,138–44,151–53.
13. Williams,Michael Faraday,153–54,156.
14. Williams,Michael Faraday,153–54,156;Hamilton,A Life of Discovery,165–66.
15. Hamilton,A Life of Discovery,187–88;Williams,Michael Faraday,160.

16. Fisher, Faraday’s Experimental Research in Electricity, 29–30.

17. Fisher, Faraday’s Experimental Research in Electricity, 29–31.

18. Fisher, Faraday’s Experimental Research in Electricity, 30–34.

19. Fisher, Faraday’s Experimental Research in Electricity, 37–38.

20. Fisher, Faraday’s Experimental Research in Electricity, 44.

21. Fisher, Faraday’s Experimental Research in Electricity, 40–41, 44, 49.

22. Williams, Michael Faraday, 196.

23. Bragg, “Michael Faraday,” 489–90; Williams, Michael Faraday, 211.

24. Williams, Michael Faraday, 242–44, 284.

25. Williams, Michael Faraday, 283–84, 286–87; Thomas, “Faraday and Franklin,” 532–33.

26. Bragg, “Michael Faraday,” 490; Thomas, “Faraday and Franklin,” 534.

27. Williams, Michael Faraday, 2, 4; Hamilton, A Life of Discovery, 4.

28. Williams, Michael Faraday, 103–4, 341.

29. Williams, Michael Faraday, 105.

30. E.H. Hare, “Michael Faraday’s Loss of Memory.” Proceedings of the Royal Society of Medicine 67 (1974): 618, accessed October 1, 2016, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1651719/>; Williams, Michael Faraday, 492–93, 497.

31. Williams, Michael Faraday, 499.

32. Williams, Michael Faraday, 500.

33. Basil Mahon, The Man Who Changed Everything: The Life of James Clerk Maxwell (UK: John Wiley and Sons Ltd., 2003), 1.

34. Mahon, Man Who Changed Everything, 15–16.

35. Mahon, Man Who Changed Everything, 19–20.

36. Mahon, Man Who Changed Everything, 23–24, 35–36, 49; Michael Atiyah, “Foreword to James Clerk Maxwell Commemorative Booklet,” James Clerk Maxwell Foundation, accessed October 1, 2016, <http://www.clerkmaxwellfoundation.org/ForewordSirMA_Booklet.pdf>.

37. Albert Einstein, Ideas and Opinions (New York: Three Rivers Press, 1954), 266–67, 269.

38. Mahon, Man Who Changed Everything, xv – xvi, 2.

39. Mahon, Man Who Changed Everything, 57, 59 – 60, 65.

40. Thomas K. Simpson, Figures of Thought (Santa Fe: Green Lion Press, 2006), 5, 128 – 29.

41. Thomas K. Simpson, Figures of Thought, 51 – 52, 56 – 57.

42. J ames Trefil and Robert M. Hazen, The Sciences: An Integrated Approach (Hoboken, NJ: Wiley and Sons, 2004), 126.

43. Thomas K. Simpson, Figures of Thought, 64 – 65.

44. Thomas K. Simpson, Figures of Thought, 67 – 68.

45. Thomas K. Simpson, Figures of Thought, 68 – 71.

46. Thomas K. Simpson, Figures of Thought, 70 – 71.

47. Thomas K. Simpson, Figures of Thought, 70 – 71.

48. Thomas K. Simpson, Figures of Thought, 118, 120 – 21.

49. Mahon, The Man Who Changed Everything, 1 – 2, 126 – 28.

50. J ames Clerk Maxwell, "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field," Philosophical Transactions of the Royal Society of London 155 (1865): 466, accessed October 1, 2016, <http://rstl.royalsocietypublishing.org/content/155/459.full.pdf+html>.

第二部分　爱迪生时代

一个用电点亮世界的时代

第4章　摩尔斯的电报

科学向全世界宣布：时间和空间统治人类的日子一去不复返了！

——罗斯特·约翰逊（1872）注

在人类揭开电磁波这个自然界中的奇妙事物的神秘面纱之后，塞缪尔·摩尔斯是第一个收获科学发现果实的人。法拉第发现电流从线圈通过时，可以磁化放在线圈中的铁棒，摩尔斯电报就是这个成果的一个简单巧妙的应用。在电报的接收端，时断时续的电流驱动电磁铁，使连接在磁铁上的铅笔在滚动纸带上“写”出一连串的点、划。利用摩尔斯电码，就可以把这些点和划翻译成字母和数字。随着19世纪晚期电报的普及，电力开始为现代通信行业提供动力，让我们走上即时通信的发展道路，并为我们送来了今天的智能手机。注

摩尔斯发明电报的过程与瓦特发明蒸汽机的过程非常相似，同样展示了坚持、合作、专利和生产力的重要性。对于任何新技术来说，情况都大同小异，但是摩尔斯的经历却更加特别。摩尔斯特别执着，他殚精竭虑、前思后想，目的是确保电报的第一次商业运作取得成功，尽管发明电报不是他最初的理想，他本来希望自己能成为一个著名画家。

摩尔斯的一生都在为保护自己的专利而努力，他在这方面所花的时间远远超过瓦特。在整个事件中，法院的作用成为人们关注的焦点。1854年，尽管摩尔斯的竞争对手表示异议，但是美国最高法院最终裁定，摩尔斯“是电报的最早发明者和第一发明人”。这是法院在

确定新技术的荣誉归属和财富归属问题上发挥显著作用的一个早期案例。(注)

整个经济体系的生产力水平对摩尔斯电报的重要意义，绝不亚于它对瓦特蒸汽机的影响。电报的重要性远远超出普通意义上的巧妙发明。作家汤姆·斯丹迪奇（Tom Standage）恰当地将电报称为“维多利亚时代的互联网”。电报把整个世界联系在一起，这与今天的互联网并无二致。电报为市场和企业扩大规模创造了条件，它对经济的影响远远超出它的建设成本。

摩尔斯最早告诉我们，电是驱动通信技术发展的无形力量。他还告诉我们，现代通信技术是全球经济的基础。他的一生则告诉我们，伟大的人物不一定始终伟大，在社会所面临的关键问题上的立场也不一定都是对的。

从画家到政治家

与富兰克林、法拉第和麦克斯韦不同，摩尔斯既不是科学天才，也不是实践能手。他坚持自己拥有某项技术的所有权，却有人声称在他之前就已经发明了这项技术，这给他的生活造成了无尽的麻烦。瓦特也曾面临同样的麻烦，但是他非常幸运，因为他有博尔顿这样的合伙人。尽管如此，摩尔斯仍然很难得到我们的同情。摩尔斯出生在一个书香门第的富裕家庭，这与富兰克林和法拉第不同。在专利权争夺大战中，摩尔斯赢得了最后的胜利。而且，任何在奴隶制和宗教自由问题上与摩尔斯持相同立场的人，都很难获得人们的同情。

1789年4月30日，摩尔斯的父亲耶底底亚·摩尔斯（Jedidiah Morse）成为马萨诸塞州查尔斯镇公理会教堂的牧师。很快，他就结婚了。两年后，在1791年4月27日，耶底底亚和妻子伊丽莎白有了第一个

孩子，名叫塞缪尔·芬利·布里斯·摩尔斯。耶底底亚发表过一些地理学方面的作品，例如1793年的《美国世界地理》（*The American Universal Geography*），与本杰明·富兰克林、乔治·华盛顿等人有点儿来往，因此在国际上享有一定的声誉。他对政治有着强烈的兴趣，对天主教则怀有偏见。后来，这些都遗传给了他儿子。注

8岁时，塞缪尔·摩尔斯开始在马萨诸塞州安多佛市的菲利普斯学院读书，后来考入了耶鲁大学。耶鲁大学的本杰明·希里曼（Benjamin Silliman）教授在课堂上将摩尔斯引入了新兴的电学领域。在被科学吸引的同时，摩尔斯对绘画产生了更加强烈的兴趣。他在欧洲生活三年，跟华盛顿·阿尔斯顿（Washington Allston）学习绘画艺术。阿尔斯顿是一位著名的美国画家，与本杰明·韦斯特（Benjamin West）、约翰·辛格尔顿·科普利（John Singleton Copley）等美国早期的著名画家交情很深。

为了赚钱以继续接受艺术教育，并为以后的艺术生涯做准备，摩尔斯回到美国。摩尔斯试图出售自己的10幅画作，其中包括两幅大型历史画——《垂死的赫拉克勒斯》和《宙斯的审判》，但是在费城和波士顿公开展出之后，这两幅画都无人问津。1817年，摩尔斯受南卡罗来纳州查尔斯顿市的委派，为当时的美国总统门罗画像，取得了“第一次商业上的成功”。1821年，他进行了一次大胆的尝试，以美国众议院内景为题，绘制了一幅巨型画作。（不久前，摩尔斯的画作《众议院》被位于华盛顿特区的美国国家美术馆收藏。）随后，摩尔斯去往纽约，纽约市政府请他为拉法耶特将军画像。当时，这位广受欢迎的将军正在美国巡游。此后，摩尔斯又创作了更多的名人画像。注

然而，摩尔斯未能在商业上获得持续成功。41岁时，摩尔斯接受了纽约市大学（1896年更名为纽约大学）的绘画与雕塑教授的职位。之后，摩尔斯成了一名政治家。仅在1834年，他就以“天主教带来的

威胁”为题，为他哥哥创办的《观察家报》（*Observer*）撰写了12篇文章。1835年，他在一篇文章里指出：“耶稣会的这些残暴手段……如果不去制止，民主必然遭到破坏。”耶稣会的宗旨是点燃“美国人的激情，不择手段”地颠覆政府，以“实现其控制美国的阴谋”。在摩尔斯的心目中，天主教徒的危害仅次于移民。1836年，他甚至打着“本土美国人民主联盟”的旗号，竞选纽约市市长。毋庸置疑，这个团体维护的并不是本土美国人的利益。摩尔斯不是唯一一个反移民的本土主义者，在美国东北部城市中持有相同观点的人更多，但是摩尔斯公开宣扬各种攻击性观点的行为却十分引人注目。值得庆幸的是，他在政治上铩羽而归，最终走向了技术这条道路。(注)

变身发明家

1837年，两名法国人来到美国，向美国人展示所谓的电报。实际上，法国人展示的是一种被称为信号灯的光学或灯光信号设备。他们使用了一个外形与橄榄球球门相似的装置，球门的两个立柱可以倾斜，也可以弯曲。凭借一个密码本，就可以查出这个装置的不同形态所代表的字母和数字。当时，摩尔斯已经设计出一种结构简单但可行的电报。摩尔斯电报与其他电报最关键的区别在于，它是用电和磁来工作的，而其他电报，例如法国人的发明，用的则是物理符号。(注)

是什么促使摩尔斯走上科技道路的呢？在被自己的“初恋情人”（绘画艺术）抛弃之后，摩尔斯可能在耶鲁大学找到了“新欢”——科学，具体来讲，就是电学。1832年，摩尔斯乘坐“萨丽”号轮船自欧洲返回美国的途中，发生了一件事。一天晚上，“萨丽”号上的乘客们正在聊天。后来，话题转到了安培取得的电磁学研究成果上。一位绅士问长距离传输时电流的强度是否会减弱，来自波士顿的医生查尔斯·杰克逊（Charles Jackson）回答说，不会减弱，因为本杰明·

富兰克林已经证明电可以传输数英里的距离。杰克逊接着说，他在欧洲的研究也证实了这一点。摩尔斯回答说，他相信“没有任何理由认为人类的智慧不能通过电流瞬间送达任何地方”。说到这里，摩尔斯沾沾自喜，因为他认为这个想法是他第一个提出来的。不过，如果他在这个领域涉猎更广，他就应该知道这早已不是什么秘密了。在接下来的旅程中，摩尔斯坐在“萨丽”号上，继续思考这个问题，并开始编写电报可能用到的基本码。(注)

旅行结束后，由于资金短缺，摩尔斯需要他在纽约的兄弟们为他提供经济帮助。在纽约市大学任教期间，摩尔斯也没有停止发明电报的尝试。1837年，在看到法国人展示的信号装置后不久，摩尔斯就开始联系美国专利局，要求专利局注意他发明的“美国电磁电报”。1838年4月，他正式提交了专利申请。同年，在前往美国国会寻求资金支持的途中，摩尔斯在费城的富兰克林研究院展示了他发明的电报。在第一次科学评估中，这项发明引发积极的反响。富兰克林研究院出具的报告也提到了欧洲同行发明的设备，并指出摩尔斯的发明“与其他人的设计方案完全不同”。(注)

电报与选举

摩尔斯开始招募合伙人，试图利用电报赚取商业利益。首先，他联合了他在纽约市大学的一些同事，包括莱昂纳德·盖尔（Leonard Gale）教授。曾经在纽约市大学求学的阿尔弗雷德·维尔（Alfred Vail）也积极地参与了这次商业活动。摩尔斯还向自己的兄弟和维尔的家人寻求资助。在美国国会举行了一场引人注目的演示后，摩尔斯请求国会拨付2.6万美元的款项，以便进行一次距离50英里的通信测试。此外，他还建议由联邦政府掌控电报技术的所有权，但允许私人

公司架设站点与站点之间的线路。摩尔斯认为，这样的安排（其实就是今天的公私合伙制）对公私双方都是最有利的。注

美国国会专门委员会主席弗朗西斯·史密斯（Francis Smith）负责处理摩尔斯的申请。史密斯没有考虑利益冲突的问题，而是选择离开国会（但是没有辞职），成为摩尔斯的合伙人之一。摩尔斯的公司有三个合伙人，每个人都享有部分电报专利权。史密斯拥有4/16的美国专利权和5/16的外国专利权，维尔分别拥有美国和外国专利权的2/16，盖尔各拥有1/16，摩尔斯拥有剩下的9/16的美国专利权和8/16的欧洲专利权。注

摩尔斯再次前往欧洲，但这一次他的目的不是绘画，而是为他的发明申请专利。一名英国法官驳回了他的专利申请，并告诉摩尔斯他应该对已获得的美国专利感到知足。很明显，法官否决摩尔斯专利申请的部分原因是英国有他的竞争对手。英国人让摩尔斯吃了“闭门羹”，但法国人却同意授予摩尔斯一项专利，条件是他必须只把电报技术卖给法国政府。注

从欧洲返回美国后，摩尔斯面临着一系列的问题。首先，他没有资金。其次，当初“萨丽”号的杰克逊仍然坚持电报的创意是他想出来的。再次，纽约市大学的学生人数不断下降，摩尔斯的工作朝不保夕。而且，国会还没有批准为他的电报计划拨款。直到1843年，国会才开始考虑摩尔斯实验线路的资金问题。最后，众议院以89比83的微弱优势通过了3万美元的资助提案，时任美国总统约翰·泰勒也签上了自己的名字。注

1844年5月24日，摩尔斯完成了从巴尔的摩到华盛顿的40英里的电报线路的铺设工作，终点设在国会大厦的美国最高法院。摩尔斯邀请美国专利局局长的女儿写下第一条电报信息。在母亲的建议下，安妮·埃尔斯沃斯（Annie Ellsworth）从《民数记》（Numbers）第23章

23节中选取了一句话。随后，美国第一条商业电报线路发出了第一条信息：“神为他行了何等的大事？”注

精心策划的实验让摩尔斯得偿所愿，也让公众了解了他的电报。当民主党在巴尔的摩召开选举大会时，维尔利用摩尔斯发明的电报，对陷入僵局的投票活动进行了详尽的报道。投票刚开始时，马丁·范布伦（Matin Van Buren）处于领先地位，但在第8轮投票中，詹姆斯·波尔克（James Polk）杀了出来。最终，波尔克获得了候选人提名。来自纽约的一名代表在大会现场说：“我已经将波尔克先生获得提名的消息通过电报告诉了我在华盛顿的朋友们。我很高兴地告诉在场的各位，公众对这个消息表示欢迎。”他要求大会允许他阅读来自华盛顿的电报：“为詹姆斯·波尔克欢呼三声，为电报欢呼三声。”注

有趣的是，虽然摩尔斯热衷于政治，但他一心想让他的这项强大技术保持中立。在1844年的选举之前，摩尔斯在给维尔的信中写道：“由于两个政党对各个选举产生的结果都极为关心……因此，你必须特别小心，在传送任何信息时不要偏向任何政党。”注

专利权争夺大战

电报专利权争夺战由亨利·奥莱利（Henry O’Reilly）发起，他试图利用佛蒙特州科学家、发明家劳伊尔·厄尔·豪斯（Royal Earl House）设计的设备，将电报线路向美国西部扩展。摩尔斯认为，豪斯的设计侵犯了他的专利权。1848年，肯塔基州法兰克福市的法官判决摩尔斯胜诉。奥莱利不服肯塔基州法院的判决结果，向美国最高法院提起上诉。首席大法官罗杰·托尼（Roger Taney）代表法院起草了判决意见。他一共提出三个问题。第一，摩尔斯是否为“1848年重新批准的两项专利所描述的电磁电报的第一个及最早的发明者？”第二，

如果第一个问题的答案是肯定的，那么他的专利获批过程是否“符合国会法案”？第三，如果第二个问题的答案也是肯定的，那么“奥莱利的电报……是否和摩尔斯的电报有很大的不同”，并保证没有侵犯摩尔斯的专利权？(注)

可以说，奥莱利诉摩尔斯案是确认摩尔斯拥有电报发明权的重要案例，但是类似的案例还有很多。根据一项统计，一共有62个人与摩尔斯打过专利权官司。在一个案例中，媒体半开玩笑地警告一位跟摩尔斯存在竞争关系的欧洲电报发明人，让他来美国时不要带着孩子，以免摩尔斯在法庭上宣称这些孩子也是他的发明。事实上，在摩尔斯的余生中，这类法律纠纷就没有停止过。1872年，也就是摩尔斯去世的那一年，《美国的大工业》（*Great Industries of the United States*）一书的作者在书中指出，摩尔斯声称自己是电报发明者的行为是“道貌岸然的欺骗”，认为摩尔斯不可能发明出所谓的“摩尔斯电报”，因为“他缺乏必要的科学知识、机械技术和商业能力”。而这些特点在约瑟夫·亨利、阿尔弗雷德·维尔和史密斯的身上可以找到，他们才是电报的“真正的发明者，其中亨利是‘合法的美国电磁电报之父’，维尔是‘设计机械部件的智囊’，史密斯是‘取得商业成功的保证’”。不仅如此，这位作者还把涉及电报的那个章节的草稿寄给了摩尔斯。(注)

大西洋电报电缆

摩尔斯的电报事业还面临着另外一个难题：如何用横跨大西洋的电缆联通北美洲和欧洲。在大西洋波涛汹涌的海面下铺设电缆，还要保证它可以传送电报，的确是一个非比寻常的挑战。约翰·布雷特（John Brett）率先行动，他决定让海底电缆穿过英吉利海峡，联通英国和法国。1852年，第一条电报从伦敦发送到巴黎。1853年，英格

兰先后与爱尔兰以及北海另一边的德国、俄国和荷兰建立了联系。但是，铺设跨越大西洋的电缆仍是一项有待尝试的壮举。1854年，英国发明家弗雷德里克·吉斯伯恩（Frederick Gisborne）拜访了美国商人赛勒斯·菲尔德（Cyrus Field）。菲尔德在造纸行业赚取了大笔财富之后，年仅33岁就退休了。吉斯伯恩建议菲尔德投资电报业务，这个提议激起了菲尔德的兴趣。菲尔德发现，纽芬兰和爱尔兰之间的海床比较高，有可能成为铺设电报电缆的平台。于是，他找到曾经在英吉利海峡铺设电缆的布雷特，两人合伙成立了大西洋电报公司，这一举动得到了美国和英国政府的支持。菲尔德又聘请英国医生、电气工程师爱德华·怀特豪斯（Edward Whitehouse）作为他的技术顾问，但后来他为这个决定感到后悔不已。(注)

1857年7月，菲尔德首次尝试铺设横跨大西洋的电缆。由于实行了公私合伙制，菲尔德得到了美国海军“尼亚加拉”号和英国海军“阿伽门农”号这两艘军舰的使用权。然而，电缆在离爱尔兰海岸约350英里的地方断裂，菲尔德遭遇了第一次失败。1858年6月，菲尔德准备再次进行尝试。1858年8月5日，在经历了三条电缆断裂的挫折之后，他们终于完成了全长2050英里的电缆铺设工作。北美和欧洲之间第一次建立了通信联系，庆祝活动非常热烈，甚至有些夸张。有人声称“电报让英国和美国人民重新团聚”，并且说“1776年发表的《独立宣言》的意义已经失去了一半”。费时一周终于发送成功的第一条电报称：“电报把欧洲和美国联系在一起。至高处的荣耀归于神，世间的平安与友善归于人。”但是，此时庆祝胜利为时尚早。随后，英国维多利亚女王发送给美国总统布坎南的一条电报，用了16个多小时才发送成功。更糟糕的是，不到一个月这条电缆就彻底瘫痪了。(注)

美国国会的一个专门委员会对这个问题展开调查。该委员会中最引人注目的成员是威廉·汤姆森教授，他是对麦克斯韦影响最大的几个人之一，也是菲尔德的技术顾问怀特豪斯的反对者。汤姆森最终认为，怀特豪斯给出的技术建议大多是错误的。怀特豪斯提议整条电缆

采用一种小直径的缆线作为线芯，但是汤姆森发现，电缆的线芯过细，以致无法稳定工作。怀特豪斯提议使用高电压，但是汤姆森发现，电压过高导致电缆的绝缘保护层被破坏。汤姆森还说，改进接收装置对电缆有好处，并推荐了他自己设计的镜式电流计。1865年6月24日，在汤姆森完成细致入微的科学调查并结合自己的技术知识给出建议之后，菲尔德开始进行又一次的尝试。8月2日，在横跨大西洋2/3的位置，电缆再次断裂，而且不见其踪影。菲尔德继续尝试，最终于1866年7月获得成功。更幸运的是，上一次失踪的电缆也被找到了。因此，经过9年的不懈尝试，大西洋里有了两条可供使用的电报电缆。注

汤姆森因其科学贡献而被英国授予爵士爵位，菲尔德被美国国会授予一枚特殊勋章，并被英国著名政治家、演说家和自由贸易倡导者约翰·布莱特（John Bright）誉为“当代的哥伦布”。大西洋电缆开始产生经济效益，菲尔德仅用了一年时间就还清了所有债务，这是给予他的最大奖励和荣誉。公私合伙制在这个技术商业化的过程中发挥了关键作用，同样值得注意的是，在这种独创性技术的形成过程中，失败是不可避免的环节。注

维多利亚时代的互联网

正如汤姆·斯丹迪奇在《维多利亚时代的互联网》（*The Victorian Internet*，1998）一书中所写的：“在19世纪，没有电视、飞机、计算机和宇宙飞船，也没有抗生素、信用卡、微波炉、光盘和手机。然而，互联网却已然存在。”维多利亚时代的互联网“是由电报网络、海底电缆、气动管道输送系统和送信人组成的，在几个小时之内就可以实现信息的远距离传送”。就像今天的新通信技术一样，维多利亚时代互联网的主要优势在于它缩短了通信时间。1844

年，摩尔斯在巴尔的摩和华盛顿之间铺设的电报电缆第一次把伦敦和孟买连接在一起后，从伦敦向孟买发送信息并接到回信需要两个多月的时间。而30年后，这个距离的时间就已经缩短到几分钟。不久以后，除了人与人之间的交流，电报还有其他用途。有的人利用电报来追踪股票市场行情，根据收到的信息买卖股票；有的人则用它来赌马。维多利亚时代的互联网可以帮助人们开展娱乐活动，寻觅爱情；电报员甚至用电报玩下棋游戏。1879年，艾拉·齐弗·赛耶（Ella Cheever Thayer）运用电报网络谈情说爱、约会、结婚等素材，在1879年创作了一部题为“电报爱情”（*Wired Love*）的小说。注

电报使新闻业发生了一些新奇的变化。在电报问世之前，新闻报道的都是几天或几周前发生的事，读者对此已经习以为常了。但随着电报的出现，人们可以看到实时新闻了。围绕新闻业会因这次通信革命而得到发展还是遭到淘汰的问题，人们展开了热烈的讨论（今天，人们对新闻业的前景同样看法不一）。随着美联社和路透社等新媒体的出现，电报成为新闻业的必备利器。注

隐私、政策和法律问题也一个个冒了出来。有的人不希望公开某些信息，因此他们对其进行了加密处理。1875年，有人建议制定规章制度，限制人们发送密码电报。接着，法律问题也出现了。例如，如果电报发生信息传输失误，结果导致某些人在股票交易中利益受损，责任该由谁来承担呢？有个人在遭受这类损失之后，把西联汇款公司告上法庭。最终，美国最高法院裁定，被告方只需赔偿原告方支付的电报费用，也就是1.15美元，尽管原告方声称自己损失了2万美元。注

巨大的经济影响力

同电力领域的大多数科技创新一样，电报也产生了巨大的经济影响。电报带来了实时通信，催生出更大的市场和更大的企业。电报本身也成为一项全球性业务，不仅覆盖了美国，还把欧洲和亚洲也纳入其中。1846—1866年的20年时间里，美国电报系统的电缆从几百英里发展到超过10万英里，投资额也从几千美元增加到4000万美元。我们之所以认为电报的影响力十分巨大，是因为我们无法通过投入到电线杆、线缆和电报站点上的资金，以及每年用于发送电报的费用，来衡量它的影响力。事实上，它对经济的影响力，只能通过它给其他行业带来的变化，以及它为企业发展带来的动力来衡量。[注]

在电报问世之前，信息的传播速度并不比人的旅行速度快。由于美国东北部的铁路网最发达，因此那里的旅途时间最短，从纽约乘火车到波士顿大约需要半天时间。在东北部之外的其他地区，客运及信息传播所需的时间则要长得多，从纽约到新奥尔良需要两个星期，从纽约到加利福尼亚甚至需要几个月的时间。然而，在1844年摩尔斯的巴尔的摩—华盛顿电报线路开通的7年后，美国东部和密西西比河沿岸电报站点之间就实现了实时通信。比较美国邮政服务与电报的价格，前者看起来可能更划算。在1845年以前，一页纸书信的邮政服务费为25美分，到1851年，一页纸书信的邮政服务费降至3美分。如果发电报，一条包含10个单词的电报费用是2.05美元；到19世纪70年代，该费用降至50美分，但仍然比一页纸书信的邮政服务费高得多。然而，对许多企业来说，时间比节省开支更重要，因此电报的高昂价格并没有阻碍它的发展。[注]

电报实现了实时通信，使企业和市场的规模扩大，并最终惠及国家经济。市场规模大对买家有利，因为他们可以货比三家，买到价廉质优的产品。市场规模大对卖家也有好处，因为他们可以增加销售额，从而扩大企业的规模。在企业规模扩大的基础上，他们可以在生产过程中使用更新、规模更大、成本更低的技术。正如亚马逊网站改变了我们的购物方式一样，电报也降低了买卖双方的沟通成本，使卖

家可以找到合适的供应商，供应商也可以为更多的顾客提供服务。由于公司不断拓展综合业务，大型公司就会纷纷出现，在生产与交付最终产品的供应链上承担更多的工作。[注]

电报促使市场和公司扩大规模，从而影响人们日常生活的方方面面。电报为股票和其他金融产品提供了一个更大、更透明的市场。美国中西部肉类加工业的大型现代化屠宰场可以为东部地区提供服务，这是因为有了电报之后，它们的市场规模变大了，而且可以通过火车的冷藏车厢进行集中配送。[注]

于是，电报和铁路部门形成一种共生关系。为了确保获得最有利的路权，电报公司经常沿着铁路铺设线路。与此同时，企业用火车将产品运送到电报刚开辟不久的大型地理市场。19世纪的美国仍然是一个比较年轻的国家，铁路和电报的同步发展使时空距离缩减，这是美国迅速成长为一个经济强国的强劲推动力。[注]

政府的作用必不可少

从一开始，摩尔斯就希望美国政府购买并掌控电报的所有权，但是美国国会不同意政府拥有这些专利，以及承担建造这些线路的责任。与之相反，私营企业却建成了一个四通八达、纵横交错的电报网络。电报得到的政府补贴以及它的政治化程度，都比不上美国铁路。然而，各州政府都参与了电报行业的发展历程，不过它们扮演的角色随着时间的推移不断发生变化。起初，各州允许并鼓励私营部门投资电报。它们帮助电报公司取得路权，并针对破坏电报线路的行为制定了惩罚办法。后来，各州开始对公众采取保护措施，防止电报公司的恶劣表现对它们造成伤害。这些保护措施要求电报公司必须接收从其竞争对手处发来的电报，必须遵守电报优先等级安排的规定，并且对电报的内容进行保密。[注]

19世纪50年代，为了结束电报公司相互竞争的混乱局面，政府还想方设法推动私营电报公司的合并。行业自律的尝试没有起作用。罗伯特·路德·汤普森（Robert Luther Thompson）在他的《布线大陆》（1972）一书中写道，电报行业将“不可避免地走向垄断”。受摩尔斯聘请帮助他管理电报业务的阿莫斯·肯德尔，希望由摩尔斯专利团队对各电报公司实行个别管理，以改善电报业务的管理状况。然而，团队内部的争吵破坏了这种结构化管理模式。其他技术的竞争导致电报业遭到进一步的破坏，随着竞争加剧，利润消失了。试图实现电报行业自我管理的另外几次努力也都失败了，奥莱利试图建立一个民主委员会，结果以失败告终。1857年，经过艰苦的努力，终于签订了六方合约。合约为竞争各方划定了地盘，并为相互间的合作制定了规则。然而，1866年，西联汇款公司最终收购了美利坚电报公司和美国电报公司，第一次实现了真正意义上的全国性行业垄断。(注)

摩尔斯留给世人的遗产

电报是电磁学这门新科学在商业领域的第一项应用。其原理并不复杂，就是通过电线传送时断时续的电流，磁化铁针，再以电磁波形式传输。然而，这个简单的装置却充分展示了电的重要商业价值，也彻底改变了通信状况。电在现代电信行业的诞生过程中发挥了至关重要的作用，尽管电力行业和电信行业最终分道扬镳，但它们仍然是这门伟大科学催生的“孪生兄弟”。随着介绍的深入，我们有必要思考一个问题：为什么今天的电信行业是技术进步的象征，而它的“孪生兄弟”——电力行业却普遍被视为一潭死水，几乎没有技术创新呢？

电报对经济的影响大到难以形容的地步，它使商业全球化成为可能。无论是过去还是现在，通信技术都是与工业化保持同步发展的一项重要技术，两者一起为美国开始利用其最大的资源优势（疆域辽

阔）创造了便利条件。在电报之后，新的电信技术相继问世，同样产生了巨大的经济影响，尽管其在本质上与电报的影响力有所不同。

电报的商业化是一个混乱不堪、富有争议、官司不断的过程，但它也是电报留给世人的一份重要遗产。从专利权大战就可以清楚地看到它的启示作用。法院的判决（很有可能是某个法官的判决）发挥着非常重要的作用，几乎可以决定这项新技术的所有权归属。专利是政府影响科技发展的性质与速度的一个有力手段。关于专利是促进还是阻碍创新的问题，即使在今天也是一个热门话题。下文中很快就会提及，法院的业务范围随着时间的推移不断扩大，以至于它们对现代电力行业的所有问题都拥有裁决权。这个变化令许多人感到不安。

电报行业的发展也为政府和私营企业如何处理彼此之间的关系树立了榜样。联邦政府资助摩尔斯的巴尔的摩—华盛顿电报线路的资金，为电报行业的起步提供了助力。然后，私营部门以无与伦比的热情参与了电报线路的铺设，但它们对行业调控工作几乎没有任何兴趣。各州政府先是为私人投资开了绿灯，后又帮助电报公司制止破坏行为。西联公司的垄断地位表明，私营部门掌控电报行业的结果好坏参半。最后，电话这种新技术打破了电报的垄断地位，通过价廉质优的服务保护了消费者的权益。电报被电话取代这个事实给了我们一个非常重要的启示：最好的政府监管可能就是敞开大门，欢迎新技术和新竞争。

摩尔斯留给我们的启示非常复杂。他于1872年4月2日去世，享年80岁。全美各地都降半旗哀悼他的离世，电报文字全部用黑色。大多数人都认为他很伟大，不过也有人因为他支持奴隶制而对他有不同看法。伟大的人物不一定始终伟大，有时也可能会犯错误。有些人心中的恶念不断滋生，以致最终超过他心中的善念。(注)

摩尔斯取得的经久不衰的成就，可以用有关他的一首诗加以概括：“科学向全世界庄严宣布，时间和空间统治人类的日子已经一去不复返了！”具有讽刺意味的是，这位曾一心成为著名画家的人最终成为其他画家绘制的巨幅画像的主人公，接受后人的缅怀，例如，康斯坦丁·布伦米迪（Constantino Brumidi）于1865年绘制的壁画《华盛顿成圣》。这幅画的主人公是乔治·华盛顿，除此以外还表现了6个主题。在科学主题部分，布伦米迪描绘的是女神密涅瓦指导本杰明·富兰克林、罗伯特·富尔顿和塞缪尔·摩尔斯的场景。(注)

---

1. Memorial of Samuel Finley Breese Morse, Including Appropriate Ceremonies of Respect at the National Capitol, and Elsewhere, published by order of Congress (Washington:Government Printing Office, 1875), 258

2. Samuel F.B.Morse, “American Electromagnetic Telegraph: A Classic Invention,” Science News 18, no.485 (1930): 54 - 55.

3. O’Reilly et al.v.Morse et al.56 U.S.62 (1853), paragraph 434, accessed October 1, 2016, <https://h2o.law.harvard.edu/collages/3986>.

4. Kenneth Silverman, Lightning Man: The Accursed Life of Samuel F.B.Morse (New York: Random House, 2003) 4 - 6.

5. Silverman, Lightning Man, 37, 40 - 41, 47 - 48, 52, 60 - 61, 72 - 73; Carleton Mabee, The American Leonardo (New York: Purple Mountain Press, 2000), 47 - 48, 52.

6. Silverman, Lightning Man, 122 - 25, 133 - 34; Samuel F.B.Morse, Imminent Dangers to the Free Institutions of the United States through Foreign Immigration (1835;New York:Arno Press, Inc., 1969), accessed October 1, 2016, <http://www.wwnorton.com/college/history/eamerica/media/ch12/resources/documents/morse.htm>; Mabee, The American Leonardo, 169 - 70.

7. J ames D.Reid, The Telegraph in America: Its Founders, Promoters, and Noted Men (New York: Derby Brothers, 1879), 87.

8. Mabee, The American Leonardo, 148 - 54.

9. Mabee, The American Leonardo, 156 - 57, 189; O’Reilly v.Morse—56 U.S.62(1853)Justia.com, paragraph 112, accessed October 1, 2016,

<http://supreme.justia.com/cases/federal/us/56/62/case.html>; “Samuel F.B.Morse Papers at the Library of Congress,1793 to 1919,” Library of Congress,accessed October 1,2016,<www.loc.gov/collections/samuel-morse-papers/articles-and-essays/timeline/1791-1839/>;Thomas P.Jones (ed.), “Journal of the Franklin Institute,” vols.25–26,published by the Franklin Institute (1838): 108.

10. Mabee,The American Leonardo,189–90,194–95;Silverman,Lightning Man,169.

11. Mabee,The American Leonardo,210–11.

12. Silverman,Lightning Man,174–78.

13. Silverman,Lightning Man,192,220–21.

14. “Invention of the Telegraph,”Library of Congress,accessed October 1,2016,<www.loc.gov/collection/samuel-morse-papers/articles-and-essays/invention-of-the-telegraph/>;Silverman,Lightning Man,236.

15. Mabee,The American Leonardo,277–78.

16. “Samuel F.B.Morse Papers at the Library of Congress,1793 to 1919,”Library of Congress,accessed October 1,2016, <https://www.loc.gov/resource/mmorse.018001/?sp=324/>.

17. Silverman,Lightning Man,283–84,293–95; “O’Reilly v.Morse—56 U.S.62(1853)” paragraph 422.

18. Mabee,The American Leonardo,309,311;Silverman,Lightning Man,437.

19. Tom Standage,The Victorian Internet: The Remarkable Story of the Telegraph and the Nineteenth Century’s On-Line Pioneers (New York: Walker Publishing Company,1999),72–78.

20. Standage,The Victorian Internet,79–80,83–84; “The First Transatlantic Cable 1858,”The Institution of Engineering and Technology,accessed October 1,2016, <http://www.theiet.org/resources/library/archives/featured/trans-cable1858.cfm>.

21. Standage,The Victorian Internet,84–86,88.

22. Critic 29 (1896);Standage,The Victorian Internet,89–90.

23. Standage,The Victorian Internet,vii,101–102,106–107,132,136.

24. Standage,The Victorian Internet,150–63.

25. Standage, The Victorian Internet, 114–15.

26. Robert Luther Thompson, Wiring a Continent: The History of the Telegraph Industry in the United States 1832–1866 (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1947), 440.

27. J oAnne Yates, “The Telegraph’s Effect on Nineteenth Century Markets and Firms,” Business and Economic History 15 (1986): 151–52.

28. Yates, “The Telegraph’s Effect,” 149–50

29. Yates, “The Telegraph’s Effect,” 155

30. Tomas Nonnenmacher, “History of the U.S. Telegraph Industry,” Economic History Association, EH.net, accessed October 1, 2016, <https://eh.net/encyclopedia/history-of-the-u-s-telegraph-industry>; Yates, “The Telegraph’s Effect,” 154–58; Thompson, Wiring a Continent, 442–45.

31. Tomas Nonnenmacher, “State Promotion and Regulation of the Telegraph Industry,” The Journal of Economic History, 61, no. 1 (2001): 20, 24, 29.

32. Nonnenmacher, “State Promotion and Regulation of the Telegraph Industry,” 28; Nonnenmacher, “History of the U.S. Telegraph Industry”; Thompson, Wiring a Continent, 440–42.

33. Silverman, Lightning Man, 397, 441.

34. Reid, The Telegraph in America, 665; “Apotheosis of Washington,” Architect of the Capitol, January 30, 2014, accessed October 1, 2016, <http://www.aoc.gov/capitol-hill/other-paintings-and-murals/apotheosis-washington>.

第5章　爱迪生的电灯泡

有人说我们生活在工业时代，但更恰当的说法可能是我们生活在爱迪生时代。

——亨利·福特（1931）注

托马斯·爱迪生拥有1093项美国专利，是美国历史上最多产、最著名的发明家之一。在这些专利中，虽然凭借其本身的影响力引发革命性变化的专利为数不多，但是许多专利都标志着某项具体技术取得了显著进步。而且，爱迪生涉足并做出贡献的技术领域非常广泛。爱迪生的第一项发明改进了电报技术，在电话的发明过程中，尽管亚历山大·贝尔居功至伟，但爱迪生也做出了重要贡献。爱迪生还发明了留声机和电影。注

爱迪生不仅是一位多产的发明家，他还重新定义了发明的流程。爱迪生作为发明道路上的一名孤独的探险家，他是第一个创建企业研究实验室的人，他和他的团队非常善于利用当时的科学技术获取商业价值。爱迪生奖学金获得者罗伯特·弗里德尔（Robert Friedel）和保罗·伊斯雷尔（Paul Israel）指出："我们发现爱迪生就是一个魔法师，他在19世纪完成的那些平常而巧妙的发明似乎可以让世界上大部分地区都取得进步。到20世纪，这些发明又变成专业性的科学技术，以及非常重要的社会和经济力量。"注

实际上，今天我们知道的电气工业，完全是爱迪生发明出来的。为了取代当时的煤气灯，爱迪生历尽艰辛，终于发明了电灯泡。在这个过程中，他需要克服一个难题：要让灯泡具有商业可行性，他必须

寻找合适的灯丝材料。此外，他还必须发明或者改进现有技术，为电灯提供配套技术，包括墙上开关，在城市路面下蜿蜒曲折、为电灯输送电力的电线，以及产生电压、促使电线中电子流动以便点亮灯泡的发电机等。

辛勤工作、遭遇困难，对于爱迪生而言就像家常便饭。他的职业道德令人们交口称赞。爱迪生经常工作到深夜，并对他的同事们也提出了同样的要求。他自筹资金从事这项事业，有时甚至会把全部家当都押在某一项发明上。不过，他同样需要华尔街的大亨们资助他的研究。科尼利尔斯·范德比尔特（Cornelius Vanderbilt）和约翰·摩根都曾为他慷慨解囊。然而，最终把爱迪生的名字从他自己的公司——爱迪生通用电气公司中抹去的也是这些金融家。从此以后，公司的名称就变成我们现在熟知的通用电气（GE）。

然而，任何人都无法将爱迪生的名字从美国历史中抹去。在一个人的头上画一个灯泡，以此来表示想出了一个好主意，这种做法是有道理的。灯泡是美国最耀眼的创意之一，爱迪生则是美国最耀眼的“明灯”之一。

天才发明家

爱迪生的传奇故事中有很多都是我们耳熟能详的，比如如何辛勤工作、如何敢于冒险、目光长远如何帮助他获得成功等。1847年2月11日，爱迪生出生于美国俄亥俄州米兰镇。小镇周围有好几条运河（其中一条还将米兰镇与伊利湖连接起来），为小镇的蓬勃发展提供了动力。但是，随着铁路铺设到小镇，运河带来的商机荡然无存。于是，1854年，爱迪生全家从米兰镇搬到密歇根州的休伦港。由于体弱多病，再加上家庭生活拮据，爱迪生在米兰镇接受的正规教育很少。到了休伦港后，他们家的经济状况也没有得到改善。在爱迪生的一生中

对他影响最大的人生导师就是他的母亲。在母亲的引导下，爱迪生读了一些书，包括爱德华·吉本（Edward Gibbon）的《罗马帝国衰亡史》（*History of the Decline and Fall of the Roman Empire*）。注

12岁那年，爱迪生开始做他人生中的第一份工作，在火车车厢里售卖零食和报纸。此时，他已经对实验产生了浓厚的兴趣，还制作了一台迷你电报机。后来，他又对化学实验产生了兴趣。一次，他在火车上做化学实验时打破了一只装有磷的瓶子，结果这些磷一下子燃烧起来。据说，火车上的售票员为此“打了爱迪生几个耳光”，一些传记作家认为影响爱迪生的听力障碍可能要追溯至此。不过，爱迪生在火车上的工作也为他带来了好运。一天，一辆火车呼啸着冲向铁轨上的一个小男孩，爱迪生救了他。小男孩的父亲詹姆斯·麦肯齐（James Mackenzie）为了感谢他，就把电报技术教给了爱迪生。注

通过这种实践教学，爱迪生学会了发电报。1863—1868年，爱迪生当了5年的“流浪”电报员。有人认为，爱迪生的第一个发明就是在此期间完成的。作为一名电报员，爱迪生的工作是监听电报发声器。发声器的作用是把摩尔斯电码由点点划划变成不同的声音，一名熟练的电报员通过监听发声器里的声音而写出电文的速度大约是每分钟40个单词。爱迪生希望可以减慢发声器的速度，于是他采用了一项利用摩尔斯记录器在纸上留下点和划的老式技术。爱迪生把摩尔斯记录器连接到发声器上，让发声器以每分钟25~30个单词的较慢速度发出与点和划对应的声音。这项发明被称为“摩尔斯电报转发器”，它减慢了信号接收和转发的速度，使人们有时间做更长的新闻报道。但是，这项发明对突发新闻事件的信息密集传送没有任何帮助，因此它很快就销声匿迹了。尽管如此，从爱迪生早年遭遇的这次失败经历也可以看出他取得成功的原因：他乐于也善于改进实用技术，以适应前沿行业的需要。注

1867年，20岁的爱迪生搬到美国辛辛那提，从此以后他便把发明视为他一生的事业。当时，少数几个城市成为电报这项新技术的实验基地，辛辛那提就是其中之一。在那里，爱迪生孜孜不倦地钻研电报技术，还阅读了大量电学研究的文献资料，包括法拉第的《电的实验研究》。热衷发明的爱迪生把目光投向了两个电报设备：继电器和转发器。继电器将接收到的电报信号传送到本地发声器上；转发器就像电报信号的强化器，在信号被传送到下一站之前，对信号进行强化处理。此外，爱迪生还研究了双工电报技术。借助这项技术，一条电报线路可以同时传送两条电报信息。注

1868年，爱迪生搬到了波士顿。那里的投资商资助了爱迪生在电报业务领域以外的两项发明：电子投票记录仪和股票打印机。1869年，爱迪生为投票记录仪申请了他有生以来的第一个发明专利。由于拉长选举进程有助于议员花充分的时间从对方阵营拉票，因此他们不愿意加快投票速度，导致爱迪生的这项发明没有取得商业上的成功。爱迪生在波士顿提供的黄金和股票报价服务的确取得了某种程度上的成功，但直到他于1869年搬至纽约，他才取得了真正意义上的成功。

全职发明家

与现在一样，当时的纽约金融机构也需要尽快地获取信息。有多家公司正在这个领域内展开竞争，包括爱德华·卡拉翰（Edward Calahan）的黄金与股票电报公司和塞缪尔·劳斯（Samuel Laws）的黄金与股票报价电报公司。爱迪生首先找到劳斯的公司，并在那里遇到了富兰克林·波普（Franklin Pope）。波普听说过爱迪生在波士顿发明的股票打印机，尽管他无法给爱迪生提供一份工作，但他同意爱迪生在他公司的工作室里做实验，还允许他在地下室里的一张小床上过夜。在一个高度紧张的日子里，运气不错、技术高超的爱迪生成功地证明了自己的能力。当时，投机者杰伊·古尔德（Jay Gould）发起

了对黄金市场的狙击。可是有一天，劳斯公司的机器突然“罢工”，在这样一个关键时刻信息传输中断，这令客户们大为恐慌，波普和劳斯也手足无措，只有爱迪生表现得非常平静。他来到发生故障的机器面前，弯下腰仔细检查，最终发现并解决了问题。就在那一天，他得到了一份工作。注

在劳斯出售了他的公司之后，爱迪生和劳斯一起创建了美国第一电气工程公司。后来，爱迪生又成功地将自己的发明出售给西联等大型公司。这一做法取得了商业上的成功，为实验室的建设奠定了经济基础，也为爱迪生重新定义创新之路与即将形成的电气工业铺平了道路。爱迪生和他的合伙人在新泽西州纽瓦克市完成了实验室的建设，随后又招募人手，成立了纽瓦克电报机工厂。后来，他招募的那些人都成了他的好朋友，和他一起搞发明。截至1876年，爱迪生和他的团队所拥有的专利已达200多项。虽然爱迪生初到纽约时处境艰难，但他没有放弃，终于成为一位声名显赫的发明家，在经济上也取得了相当可观的成功。在他的职业生涯中，爱迪生曾经不得不变卖家产以维持经营，偶尔还会遭遇利益冲突和其他风险。有一次，西联公司为爱迪生的某项技术提供了研发资金，但爱迪生却把这项技术的所有权卖给了古尔德。西联公司认为爱迪生背信弃义，把他告上了法庭，并最终赢了这场官司。注

门洛帕克的奇才

爱迪生说过：“我的梦想之一是在工作中无须考虑开支……我希望拥有一个完美的工作场所。”1876年，他朝着完美的工作场所迈进了一大步，在新泽西州的门洛帕克建立了自己的实验室。从此以后，门洛帕克实验室就成了第一家“发明工厂”，它彻底改变了发明的流程。注

西联公司是门洛帕克实验室的重要赞助商。该公司雇用了爱迪生，让他发明一种“语音电报”，以便与贝尔拥有专利的电话展开竞争。1877年，爱迪生为语音电报发报机申请了专利，西联公司也成立了一家名为美国语音电报公司的子公司。贝尔这位业余发明爱好者、门外汉是如何击败全职发明家爱迪生的呢？传记作家保罗·伊斯雷尔认为贝尔之所以赢得了这场比赛，恰恰是因为他是一个局外人；他给这个领域带来了独特的视角。贝尔的父亲为失聪者开发了“可视语言”符号系统，后来贝尔又发明了一种“声波记振仪，帮助失聪者看见说话模式”。伊斯雷尔强调贝尔追求的目标是以全新的方式传送语音会话，而爱迪生的目光仅停留于努力改进既有的电报技术。然而，爱迪生确实也对电话技术做出了重要贡献。贝尔发明的接收器比爱迪生的好，但是爱迪生发明的送话器更胜一筹。[注]

1877年，爱迪生紧锣密鼓地做实验，不断推进留声机的发明进度。在经过一轮新闻报道之后，爱迪生的一名助手给《科学美国人》（*Scientific American*）寄了一封信，简单地介绍了留声机这项发明。随后，编辑在杂志上刊发了这封信，并在编者按中称，这项发明可以让人们说的话变成“永恒的存在”，真令人震惊。随后，爱迪生让他的工程师们制造出留声机。爱迪生对着机器大声地唱着儿歌“玛丽有只小羊羔”。等到他的声音从这个包着锡纸的新设备中传出来时，他的同事们都大吃一惊。爱迪生因此名声大噪，并赢得了“门洛帕克的奇才”这个经常被人提及的称谓，而不是因为他发明了电灯。但是，爱迪生很快就把他的这个著名发明抛到了脑后，并且花了10年时间去迎接新挑战——发明电灯泡，也由此开启了电气工业。[注]

发明白炽灯

用白炽灯打败煤气灯

爱迪生31岁时就已经是一名广为人知的发明家了。一天，被发明工作累得筋疲力尽的爱迪生决定给自己放个假，前往怀俄明州罗林斯市观看1878年7月29日发生的日食。同行的宾夕法尼亚大学教授乔治·巴克尔（George Barker）建议爱迪生去拜访一下康涅狄格州安索尼亚的威廉·华莱士。华莱士一直在做电气方面的实验，并于1874年发明了他的第一台发电机。1878年年末，爱迪生见到了华莱士，并亲眼见证了华莱士—法默发电机以及被它点亮的那些灯。与华莱士的这次会面让爱迪生对电产生了兴趣，他决定接受开发电灯的挑战。爱迪生说：“（在华莱士的工厂里，）我第一次目睹了所有的实操设备，一切就发生在我的眼前。我发现他们发明的电灯没有太大的优势，我还有赶超的机会。他们的发明没有明显的实用性，灯光太强烈了，私人住宅没办法使用。”

煤气灯是电灯公认的竞争对手。在研究过程中，爱迪生确定了自己的目标，他要让电灯在价格和性能上击败煤气灯。自从法拉第的导师汉弗莱·戴维发明了弧光灯，电灯的研究就停滞不前了。这种灯有两根碳棒，之间有狭小空隙，当高压电从两根碳棒上通过时，两者之间的间隙就会产生一束耀眼的弧光，因此得名弧光灯。1880年，纽约百老汇大街的一部分被弧光灯照得亮如白昼，因此人们给它起了一个“不夜街”的绰号。

弧光灯的问题是灯光过于明亮。如果用标准烛光这个当时常用的度量单位来表示，弧光灯发出的光相当于数千烛光，而煤气灯的亮度仅为10~20烛光。弧光灯问世之后，有人提出要将光进行分割，或者把弧光灯分成更小且不那么刺眼的几个灯。要实现这个目的，就必须采用一个全新的方法——使用白炽灯。

白炽灯通过加热的方式让灯丝达到白炽状态，从而发出人们需要的光。爱迪生面临的最主要的技术难题是，大多数灯丝材料在达到白炽状态之前就会熔化。爱迪生要么找到一种轻薄的材料，要么改进发

光工艺。刚开始的时候，爱迪生一心希望为他的电灯安装一个“调节器”。当温度接近白炽灯灯丝的熔点时，调节器会让电流减小。爱迪生还需要考虑一个重要的商业问题。人们认为，爱迪生的电灯需要大电流，而将这些大电流借助铜线从发电机传输至千家万户的电灯，需要使用大量昂贵的铜。为了有效地实现商业化，他的发明必须具有经济节约的优势。注

为了解决诸如此类的问题，爱迪生先要想办法筹集研究所需的资金。他请律师格罗夫纳·劳里（Grosvenor Lowrey）安排融资事宜。在劳里的努力下，西联公司的两名高级职员特雷西·埃德森（Tracy Edson）和汉密尔顿·托姆布雷（Hamilton Twombly）成了主要投资者。此外，电报与煤气等公用事业的主要投资者范德比尔特家族也有多名成员参与了投资。最终，他们成立了一家拥有30万美元资本的股票公司。其中一半资本来自爱迪生的专利，另一半则是投资者投入的现金。有趣的是，爱迪生非常重视范德比尔特家族的“美国公用煤气公司最大股东”这个身份。由于爱迪生希望用电灯打败煤气灯，因此范德比尔特家族投资爱迪生的公司，实际上就是在跟自己展开竞争。有证据表明，精明的私人投资者往往对过去的发明没有情感依恋或政治依属，相反，他们非常乐意为新发明提供资金。弗里德尔和伊斯雷尔说：“然而，（爱迪生）在1878—1879年得到的资助，标志着资金与发明之间的关系在美国已经进入了一个新阶段，从中可以看出这个时代的某些特点：大公司通常期望科学与实验室所发明的专业技术有助于它们生产出更新、更好的产品，从而获得更多的利润。”注

爱迪生的成就标志着人类历史进入了一个新阶段，但是从根本上看，他的成就标志着电气行业的产品进入了一个发展的新阶段。对于后者，我们可以从所有产品的开发周期至少可以分成4个阶段（研究、开发、演示发布和商业化）这个事实来考虑。很久以前，富兰克林、法拉第和麦克斯韦就已经完成了纯粹的科学研究，爱迪生可以直接进入产品开发阶段，例如，开始灯丝的测试工作。而且，他很快就可以

在珍珠街发电站进入产品的演示发布阶段，再随着爱迪生公司的四处推广而进入全面商业化阶段。

电流的测量

电灯是构成电路的三个组成部分之一，它本身也是电的使用者。第二个组成部分是发电厂，与电灯的距离可能非常远，是电的来源。第三个组成部分是电从发电厂到电灯的电路，通常指沿着公路来到家庭或者企业门口并进入其中的金属线，包括布设在建筑物墙壁中的铜线。当墙上的电灯开关被打开时，电路中就会有电流，电灯就会亮起来。如果检测到问题，断路器就会切断电流。

对于电路中电流的测量，乔治·梅森大学的物理学教授詹姆斯·特赖菲尔（James Trefil）和地球科学教授罗伯特·黑森（Robert Hazen）打了一个比方，把通过导线的电子比喻成流经管道的水。水的重要测量数据包括水管中的水流量和压力。测量“流经”导线的电子流时使用的计量单位叫作安培，是以法国物理学家安培的名字命名的。与此同时，电子流形成的压力单位是伏特，是以意大利科学家亚历山德罗·伏特的名字来命名的。第三个量度是输送到电灯（或发动机等其他任何电子设备）的电功率，单位是瓦特（以詹姆斯·瓦特的名字命名）。计算公式是：电功率（瓦特）等于电流（安培）乘以电压（伏特）。所以，如果电流增大，或者电压增高，电功率就会增大。最后，电阻这个概念表示电子在导线中通过时的难易程度。电阻高，意味着变成热能的电能比较多。因此，长距离电力输送通常会使用铜这种低电阻金属，以减少电能变成热能造成的损耗。而烤面包机等需要大量利用热量的设备，则通常会选用高电阻金属。电阻的单位是欧姆，是以德国物理学家乔治·西蒙·欧姆（Georg Simon Ohm）的名字命名的。[注]

寻找灯丝材料

爱迪生公司的投资人希望了解电灯生产的其他几个方面的现状。幸运的是，爱迪生聘请了弗朗西斯·厄普顿（Francis Upton）负责收集这方面的资料。后来，厄普顿成为爱迪生最亲密的合伙人之一，也是他团队中为数不多的受过纯粹科学训练、有相关专业经验的成员之一，是团队的宝贵财富。最终，爱迪生为几乎所有必需的设备都创造出一个原始版本，包括发电设备（发电机）、电力输送设备（地下铜导体）和用电器（电灯泡本身）。毫不夸张地说，爱迪生和他的团队从无到有，开创了整个电气行业，他们取得如此成功的基础是他们融科学、技术、制造和投资于一体的特殊技能。

下面这个例子最能说明问题。爱迪生和厄普顿发现，如果他们使用高电阻材料制作灯丝，就可以减少铜线的使用量和成本。这个发现来自他们掌握的最新科学知识，包括焦耳定律和欧姆定律。其中的原理可以用三个等式来解释：第一，电功率等于电流乘以电压；第二，电压等于电流乘以电阻；第三，把第二个方程代入第一个方程，就会发现电功率等于电流的平方乘以电阻。因此，要保持电功率不变，爱迪生可以减小电流（这意味着减少铜的使用量），同时提高电阻。之后，爱迪生便开始在全世界寻找最适合做灯丝的高电阻材料。[注]

爱迪生一开始倾向于金属铂。他把密封玻璃球抽成真空状态，再在中心处放置一根长长的、紧密盘绕的铂丝。这个铂丝灯泡的外形与我们今天使用的灯泡非常相似，但是铂的价格昂贵，而且电阻很小，这个尝试以失败告终。爱迪生不得不更改研究方向，继续寻找合适的灯丝材料。1879年10月，他和他的团队发现碳丝的效果不错，他们的研究终于取得了重大突破。[注]1879年11月4日，爱迪生为他的碳丝灯泡申请了专利。[注]

1879年12月21日，纽约《先驱报》（*The Herald*）发表了题为“爱迪生的电灯：伟大发明家在电气照明上取得的胜利”的文章，引起了读者的极大期待。在这篇文章中，爱迪生宣布他将在10天之后，

也就是1879年新年前夕，进行第一次公开演示。《先驱报》的记者马歇尔·福克斯（Marshall Fox）生动地报道了这次活动：“爱迪生实验室于今天晚上开放，以便观众观看他的电灯照明活动。”他在报道中写道，尽管天气恶劣，但仍有数百人来到现场。爱迪生实验室“灯火辉煌”，就像火车站前的大街一样。爱迪生和他的团队介绍了他们的新照明系统，并进行了“各种各样的测试”。[注]

在此之前，有人持怀疑观点，一些科学家甚至称这次演示是一个骗局。活动后不久，爱迪生公司的股价迅速飙升，煤气灯公司的股价则急剧下跌。然而，对于传记作家弗里德尔和伊斯雷尔来说，最重要的则是公众的反应，尤其是在新年前夕来到门洛帕克实验室的那些观众的反应。爱迪生的电气系统非但没有引起人们的恐惧和不信任，反而点燃了人们的希望。弗里德尔和伊斯雷尔明确指出：“他们在面对科学技术的力量时所表现出的态度是19世纪最重要的遗产之一，在即将迈入下一个十年之际，聚集在门洛帕克实验室的热情洋溢的人群，把这种态度表现得淋漓尽致。”[注]

建造珍珠街发电站

爱迪生在门洛帕克实验室举行的新年前夕演示活动，让他的电气照明系统在研究、开发、演示发布和商业化这四个阶段构成的新产品开发过程中，一举前进了两个阶段。但是，他还需要完成商业化这个阶段。1882年9月4日，在门洛帕克演示活动将近三年后，爱迪生启动了他位于纽约市珍珠街257号的工业规模发电站，点亮了华尔街地区1/4平方英里[注]范围内（包括J.P.摩根的办公室）的所有电灯。时至今日，它仍然是美国历史上最令人难忘的商业化案例之一。[注]

然而，珍珠街发电站并不是爱迪生照明系统的首个商业项目。一个名叫亨利·维拉德（Henry Villard）的人看到门洛帕克演示之后，

对这项发明感到非常满意。维拉德是俄勒冈州铁路与航运公司的负责人，他请爱迪生为该公司的新轮船“哥伦比亚”号安装电气照明系统。当时，“哥伦比亚”号停在宾夕法尼亚州，正在建造中。爱迪生同意了，并于1880年春天完成了安装工作，这让“哥伦比亚”号的第一批乘客感到十分高兴。注

此外，爱迪生及其合伙人在欧洲也获得了很好的声誉。1881年，爱迪生的电气照明系统在巴黎国际电气博览会上展出。当时的评论家称爱迪生的系统非常突出，它考虑到了所有细节，是一套功能完备的电气照明系统，不同于其他同类发明。1882年，爱迪生在伦敦附近举办的一个类似展览上再次展示了这套系统。伴随着他在伦敦市中心的霍尔邦高架桥开启他的全套照明系统（包含发电机、地下电线和电灯），“门洛帕克的奇才”的名声传播得更广更远了。至1882年4月，霍尔邦高架桥照明系统共点亮了938盏白炽灯，这就像5个月后的珍珠街发电站照明系统启动活动的一次彩排。注

回到美国后，爱迪生把全部精力都放在制造照明系统的所有必需设备上，全神贯注地为珍珠街照明系统启动活动做准备。然而，这并不意味着技术的进步已经停止。1880—1882年，爱迪生和他的团队又申请了256项专利。例如，爱迪生和他的团队始终坚持不懈地寻找最适合的灯丝材料。1880年，他们选定了竹子，但并不是所有竹子都符合他们的要求。他们更倾向于日本竹子，这种竹子比以前常用的加尔各答竹子更耐用。此外，材料的选择还必须考虑生产的难易度。制造竹质灯丝有一定难度，但爱迪生团队发现，对碳化过程做一个小小的调整，让竹子的“边棱朝上”而不是“扁平面朝上”，就可以解决问题。竹质灯丝充分展示了爱迪生的竞争优势——爱迪生拥有资源，可以在全世界范围内寻找最适合的灯丝材料。此外，他招募的人员都不乏耐心，目光敏锐，善于发现细微的差别，进而解决问题。今天，灯丝的材料是熔点很高的稀有金属钨。注

爱迪生组建的一系列新公司同样令人印象深刻。通过珍珠街照明计划，爱迪生设计好了公司结构，明晰了团队成员应该承担的主要责任，以及所有投资人应该承担的主要风险。1878年，母公司爱迪生电灯公司成立，目的是为整个照明系统的发明提供资金；1880年，旨在执行珍珠街照明计划的纽约爱迪生电气照明公司成立；1881年，爱迪生机器厂成立，以便为珍珠街发电站及其他地方制造发电机；1881年，为了将发电机发出的电通过地下线路输送给电灯，爱迪生成立了电力管道公司；1880年，爱迪生灯泡厂成立，可以自行生产电灯泡；1881年，贝格曼公司与爱迪生公司的合作工厂成立，生产灯座、开关等配件。注

相较技术进步以及先进的公司结构，珍珠街发电站给人一种虎头蛇尾的感觉。爱迪生以65000美元的价格买下了珍珠街255号和257号两栋楼。煤被储存在地下室，由传送带运送到一楼的4个巴布科克&威尔科克斯锅炉里，用来制造蒸汽。大型发电机位于二楼，每台重达30吨，占地面积约为11平方米。每台机器的发电量约为51.5千瓦，可以点亮700个A类灯泡。三楼存放了许多用于性能测试的电灯泡。注

虽然珍珠街发电站的外表看上去并不起眼，但其内部发生的事值得我们关注，因为它是爱迪生和人类取得的一个巨大成就。在那幢建筑内，能量发生了惊人的转变。煤燃烧后释放出数千年来积蓄的化学能，并将其转化成巴布科克&威尔科克斯锅炉里的蒸汽。这些蒸汽被输送给发动机后转化为机械能，机械能往复推拉发电机内部的磁体，在线圈中产生电流。整个过程与法拉第早年证实的情况毫无二致。发出来的电通过爱迪生团队铺设的长达8万多英尺的地下线路，源源不断地输送到各家各户。珍珠街地区约有1500名居民，使用的煤气灯总数约为2万盏。爱迪生公司铺设地下线路的目的，就是抢生意，让这些居民使用电灯。1882年9月4日，在明亮的灯光下，爱迪生面对记者，简要地回顾了自己付出的一切努力。他说：“我已经兑现了我的承诺。”注

黯然退场

爱迪生的确兑现了他的承诺，而且在这个过程中他还开创了一个全新的行业。然而，在珍珠街计划取得胜利后不久，爱迪生就惨遭失败，被电气行业扫地出门了。由于爱迪生在欧洲的公司出了一些问题，他请维拉德帮忙解决，但是他的这个举动为他后来的失败埋下了伏笔。根据维拉德于1887年制订的计划，爱迪生在德国的公司——德国爱迪生公司，更名为“Allgemeine Elektricitäts-Gesellschaft”，简称AEG，翻译成英语就是General Electric Company（通用电气公司）。就这样，“爱迪生”三个字从这家德国公司的名称中消失了。接着，维拉德回到美国，代表德国的银行与德雷克塞尔、摩根和爱迪生三家公司谈判，寻找对包括电气行业在内的美国企业进行投资的机会。1889年，维拉德把爱迪生名下的所有公司重组为一家新公司，名为爱迪生通用电气公司。合并所使用的资金，有一多半来自德国的银行和利益集团。新的爱迪生通用电气公司把合作完成珍珠街计划的所有公司组合在一起，负责人是维拉德。爱迪生显然同意了这个决定并签了字，以便可以专心从事发明创造的工作。但最终看来，他应该是所托非人。㊟

在这些金融交易进行的同时，电气行业被卷入了所谓的“直流电和交流电之争”。爱迪生支持基于直流电的电气系统，而另一些人和公司（其中最著名的当属乔治·威斯汀豪斯和汤姆森—休斯敦电气公司）则支持基于交流电的系统。爱迪生在这场大战中败北，这是导致爱迪生失去他的公司的原因之一。最终，爱迪生通用电气公司和汤姆森—休斯敦电气公司合并的计划浮出水面。1892年，摩根和范德比尔特利益集团主导了合并谈判，并达成了交易。合并之后的新公司名叫通用电气，45岁的爱迪生再也不是他所创造的电气行业中的一名重要商人，他的名字也从公司名称里被抹掉了。这对爱迪生来说是终结，

但对通用电气来说美好的时光才刚刚开始。直到今天，通用电气仍然是电气行业的科学和技术领头羊。(注)

爱迪生留给世人的遗产

托马斯·爱迪生开启了包括电灯泡和发电机在内的整个电气行业。电气行业需要证明其对电磁学的应用可以达到商业规模，爱迪生的珍珠街计划以及随后完成的其他几个计划就恰恰证明了这一点。爱迪生之所以成功，是因为他是一个务实的天才，而且可以在科学技术、制造业及商业、巨额融资（爱迪生一度涉足这个领域）这三个不同领域中做到游刃有余。爱迪生成功理顺了这三个领域内部以及彼此之间的关系。他所付出的努力，他面对风险时一往无前的态度，他矢志不渝追求目标的决心，为后来的企业家树立了一个非常好的榜样。

尽管爱迪生才华横溢，但他的判断并非永远正确。在一个关键的岔路口，他选择了直流电而不是交流电，结果走上了错误的道路。但是，这个错误并没有抹煞他的成就，因为被证明错误与被证明无用是不一样的。此外，尽管他声名显赫而且聪明睿智，但在金融家面前他也不是战无不胜的。被排挤出自己的公司可以说是一个灾难，但这样的结果往往是使用私人投资造成的，在财富集中的时代更是如此。资金流向爱迪生的实验室，并因此开创了一个新的行业，这要归功于爱迪生的信用。

当然，爱迪生留给我们的遗产远不只是一个电气行业。他是美国历史上最重要的发明家之一。他知识面广，而且表现出一种积极进取的态度，这两个特点对他那个时代乃至任何时代的发明家而言都至关重要。即使到了今天，任何有创意的人仍然可以从他的经历中找到灵感。此外，爱迪生的做法不仅对个人有启示作用，他还把研究和开发工作推上了一个新的高度，为企业研发实验室的发展树立了一个榜

样。事实上，爱迪生就是企业研发活动的鼻祖，他创建的模式沿用至今。

1928年，汽车制造商亨利・福特在密歇根州的迪尔伯恩建造了爱迪生博物馆，以纪念他的这位良师益友，同时纪念白炽灯泡发明50周年。博物馆还克服重重困难，重建了爱迪生的门洛帕克实验室。《底特律自由报》（*Detroit Free Press*）的一篇报道称，爱迪生出席了纪念仪式；他“静静地坐在那里，抱着双臂，沉浸在难以名状的孤独感中。这是天才独有的孤独，是一骑绝尘者的孤独，是无人能与之分享他的世界、思想和感情的孤独”。[注]

1931年10月18日，84岁的爱迪生在新泽西州格伦蒙特的家中去世。他的追悼会于1931年10月21日举行，当天晚上东部时间10点左右，除了一些非常重要的照明灯以外，几乎全美国的所有电灯，包括百老汇和自由女神像上的电灯，都被关掉了一分钟。《时代周刊》（*Time*）援引福特的话说：“有人说我们生活在工业时代，但更恰当的说法可能是我们生活在爱迪生时代。”[注]

---

1. “Death of a Titan,” Time, October 26, 1931.
2. Paul Israel, Edison: A Life of Invention (New York: John Wiley and Sons, 1998), vii.
3. Israel, Edison: A Life of Invention, 119 – 20; Robert Friedel and Paul Israel, Edison’s Electric Light (New Jersey: Rutgers University Press, 1987), x.
4. Rudolph Alvarado, Thomas Edison (Indianapolis: Alpha Books, 2002), 4 – 7.
5. Alvarado, Thomas Edison, 8, 13 – 14; Israel, Edison: A Life of Invention, 11 – 12, 18.
6. Israel, Edison: A Life of Invention, 20, 26 – 27; Alvarado, Thomas Edison, 21.
7. Israel, Edison: A Life of Invention, 35, 37 – 39.

8. Israel, Edison: A Life of Invention, 45; Alvarado, Thomas Edison, 42–44.

9. Alvarado, Thomas Edison, 45–46, 49, 55–56.

10. Alvarado, Thomas Edison, 59; Israel, Edison: A Life of Invention, 118–20.

11. Alvarado, Thomas Edison, 66, 69; Israel, Edison: A Life of Invention, 130–32.

12. Alvarado, Thomas Edison, 77, 79–80, 83.

13. Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 3–8.

14. Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 7; "Madison Square North Historic District Designation Report," New York City Landmarks Preservation Commission, June 26, 2011, 10–11, accessed October 1, 2016, <www.nyc.gov/html/lpc/downloads/pdf/reports/MadisonSquareNorth.pdf >.

15. Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 7.

16. Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 10, 13, 16.

17. Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 19, 22, 40.

18. Trefil, The Sciences: An Integrated Approach, 116–17.

19. Thomas P. Hughes, Networks of Power: Electrification in Western Society 1880–193 (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1983), 35–36.

20. "Electric Lamp," The Thomas Edison Papers, Rutgers University, accessed October 1, 2016, <http://edison.rutgers.edu/lamp.htm>; Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 100, 106.

21. Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 106.

22. Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 93, 112.

23. "Edison's First Successful Electric Lamp," Spark Museum of Electrical Invention, accessed October 1, 2016, <http://www.sparkmuseum.org/collections/electricity-sparks-invention-(1800-1900)/edisons-first-successful-electric-lamp/>; Friedel and Israel, Edison's Electric Light, 114.

24. 1平方英里≈2.59平方千米。——编者注

25. “Milestones: Pearl Street Station,1882,” ETHW,accessed October 1,2016,<http://ethw.org/Milestones:Pearl_Street_Station,_1882>;Austin Smith,“New York Post from Sept.4,1882,” New York Post,September 4,2001,accessed October 1,2016,<http://nypost.com/2001/09/04/new-york-post-from-sept-4-1882/>.

26. “Promoting Edison’s Lamp,” Smithsonian Institution,accessed October 1,2016, <http://americanhistory.si.edu/lighting/19thcent/promo19.htm>;Electricity Journal 3,no.2 (July 27,1892): 15n21.

27. David Porter Heap,“Report on the International Exhibition of Electricity,Paris,” Engineer Department,U.S.Army,1884,188–89,accessed October 1,2016, <https://archive.org/stream/reportoninterna01heapgoog#page/n194/mode/2up>;Friedel and Israel,Edison’s Electric Light,217.

28. “Edison’s U.S.Patents,1880–1882,” Thomas Edison Papers,Rutgers University,accessed October 1,2016, <http://edison.rutgers.edu/patente2.htm>;Friedel and Israel,Edison’s Electric Light,157,165.

29. “Edison Companies,” Thomas Edison Papers,Rutgers University,accessed October 1,2016, <http://edison.rutgers.edu/list.htm>.

30. Friedel and Israel,Edison’s Electric Light,211–14.

31. Friedel and Israel,Edison’s Electric Light,206–7,219,222.

32. Hughes,Networks of Power,76–77.

33. Gilbert King,“Edison vs.Westinghouse: A Shocking Rivalry,” Smithsonian,October 11,2011,accessed October 1,2016, <http://www.smithsonianmag.com/ist/?next=/history/edison-vs-westinghouse-a-shocking-rivalry-102146036/>;Israel,Edison: A Life of Invention,336.

34. “Henry Ford Museum & Greenfield Village,” Library of Congress The American Folklife Center,accessed October 1,2016, <http://memory.loc.gov/dig lib/legacies/loc.afc.afc-legacies.200003161/>;Alvarado,Thomas Edison,209.

35. Herbert Hoover,“Statement on a National Tribute to Thomas Alva Edison,” The American Presidency Project,October 20,1931,accessed

October 1,2016,<http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=22861>;“Death of a Titan.”

第6章　特斯拉与威斯汀豪斯的交流电

爱迪生毫不犹豫地说：“我的愿望就是彻底禁用交流电。”

——乔治·威斯汀豪斯（1889）㊟

我们必须给予托马斯·爱迪生应有的尊重，因为他不仅发明了电灯泡，还让电气照明系统实现了商业化。然而，他认为电力输送应该采用直流电，尽管这个做法意味着在选定地址集中建造发电机群之后，电力输送只在半径为一英里的范围内才比较经济。爱迪生认为，直流供电系统允许低压输电，因此比较安全。但是，直流发电厂的辐射范围有限，因此规模较小，成本较高。

乔治·威斯汀豪斯提出了一个方案，用于替代爱迪生的直流供电系统。他认为交流供电系统使得在几百英里的范围内的电力输送都比较经济，这意味着人们可以利用遥远的电力资源，比如尼亚加拉瀑布的水电站大坝。同时，发电厂能够服务的地理区域扩大之后，发电厂的规模也可以相应扩大。但是，爱迪生认为威斯汀豪斯的高压输电系统比较危险，因此他选择直流电。

今天，交流供电系统占据了主导地位，所以我们可以这样认为：最终为世界各地的现代供电系统奠定技术基础的是威斯汀豪斯，而不是爱迪生。此外，威斯汀豪斯还告诉我们，规模经济意味着成本较低，因此规模越大越好，这为电气行业奠定了经济基础。后来，规模经济成为现代电力行业的一个重要概念，并且造成了深远的影响。威斯汀豪斯通过一系列重大事件，诸如1893年芝加哥世界博览会、尼亚加拉瀑布的水力发电等，向世人展示了交流电的优势。

威斯汀豪斯在涉足电力业务之前，就已经是一位成功的发明家和商人了。他发明的空气制动器大大提高了铁路运输行业的安全性。威斯汀豪斯显然有成大事者所需的智力，在良好的人际关系方面，他甚至可以与爱迪生一较高下。他也有一支忠诚、乐于奉献的团队。在前瞻性方面，他不亚于爱迪生。爱迪生在建造直流电力系统之前，预先想好了整个系统的所有细节，威斯汀豪斯在建造交流供电系统前同样如此。不过，威斯汀豪斯算不上一位“奇才”，因为他并非在一无所有的基础上发明出令人惊讶的新技术，而爱迪生似乎可以做到，至少在公众眼中他具有这样的能力。威斯汀豪斯经常借鉴别人的想法，而且毫不犹豫。他对尼古拉·特斯拉的依赖就充分说明了这一特点。特斯拉是一位才华横溢的工程师，但为人处世有点儿古怪。他不仅把交流供电系统的科学知识教给了威斯汀豪斯，还把交流供电系统“皇冠”上最耀眼的“珍珠”——交流电动机技术也教给了威斯汀豪斯。

尽管威斯汀豪斯和特斯拉在电流之争中取得了胜利，但当人们想起电灯泡以及电气系统的发明者时，总会先提到爱迪生。威斯汀豪斯从未拥有像爱迪生那样的知名度。主流历史也常常忽略特斯拉的地位，尽管他为创建今天的电力系统做出过重要贡献。在这一章中，我们将讨论这两个不太为人熟知但却值得关注，在某些方面甚至更成功的人。

特斯拉的发明之路

尼古拉·特斯拉生于1856年，出生地点位于今克罗地亚境内。根据家族传说，在特斯拉出生的那天晚上，狂风暴雨，电闪雷鸣。助产士认为这是一个坏兆头，说他是“黑暗之子”。和天下几乎所有的母亲一样，特斯拉的母亲并不认可助产士的说法，反而认为特斯拉是“光明之子”。也许，最适合特斯拉的别名是“闪电之子”。富兰克

林证明闪电是一种电学现象，特斯拉对此显然深信不疑。后来，特斯拉还通过一些惊人的实验，亲手制造出人造闪电。注

尼古拉·特斯拉的父亲米卢廷·特斯拉是塞尔维亚东正教的一名牧师，他的母亲吉奥吉娜·曼迪奇虽然很聪明，但没受过正规教育。母亲的创造力，还有父亲为增强他的记忆力和推理能力而对他进行的日常测试，都对特斯拉大有裨益。父亲希望特斯拉能继承他的衣钵，成为一名牧师，但是特斯拉酷爱工程技术。在特斯拉生了一场霍乱之后，他父亲的态度有所软化，允许他在格拉茨理工大学学习工程学。

1884年，28岁的尼古拉·特斯拉来到美国。他曾经在巴黎的爱迪生公司上班，并渴望继续为这位“奇才”工作。特斯拉身材高挑匀称，衣着得体，而当时“邋里邋遢、疲惫不堪”的爱迪生正需要人手。他为J.P.摩根、范德比尔特等有钱人的豪宅建造了独立的电气系统，但是，同所有新技术一样，这套电气系统也存在问题。摩根聘请了一名全职工程师待在他家里，以确保电灯晚上不会出问题，但是灯光仍然忽明忽暗。摩根的邻居们抱怨他用煤发电导致他们受到噪声、振动和煤烟的侵扰（如今，发电厂周围的居民几乎不会有这样的抱怨）。有一次，爱迪生的这套系统引发了一场火灾，范德比尔特夫人把火扑灭了。事后，她打电话给爱迪生，要他把这套系统从她家搬走。祸不单行，一艘使用爱迪生电气系统的大型船只“俄勒冈”号，因为要进行电力维修而不得不滞留在港口。爱迪生把特斯拉派到那艘船上去完成维修工作，最终特斯拉完成了这项任务，并加入了爱迪生的团队。注

特斯拉待在爱迪生团队中的时间并不长。他宣称自己可以提高爱迪生直流发电机的工作效率，爱迪生承诺，如果特斯拉取得成功，就奖励他5万美元。经过几个月的艰苦努力，特斯拉终于成功了，但当他向爱迪生申领那5万美元奖金时，爱迪生却食言了，说那不过是一个玩笑。特斯拉当天就离开了爱迪生的公司。但是，特斯拉很缺钱，有一

次他甚至接了一份挖沟的工作。他干这份工作时心情肯定不好，因为那些沟是用来为爱迪生的直流供电系统埋设线路的。不过，据说天才特斯拉此时已经有了某些新想法了。注

一些投资商与特斯拉接触，希望他改进弧光照明系统。1886年，特斯拉成立了特斯拉电灯与电气制造公司，总部位于新泽西州罗威市。公司的主营方向并不是他想做的交流供电系统，但也多少有些关系。特斯拉成功地改善了弧光照明系统，不过，他很快就被公司扫地出门了。

特斯拉的交流供电系统

在介绍特斯拉的主要贡献之前，我们有必要先明确直流和交流供电系统之间的区别。人们通常把电理解为电子的流动。在直流电中，电子朝一个方向流动。但是在交流电中，电子的流动方向会发生变化，先朝一个方向运动，然后又朝着相反方向运动。1890年，乔治·威斯汀豪斯在一篇文章里解释了电流方向变化的原因。他说，当“一个闭合线圈接近磁体”时，线圈中就会产生“朝着某个方向的脉动电流”。威斯汀豪斯接着解释说，“当线圈离开磁体时”，线圈中又会产生另一个“脉动电流”，“但方向与之前的脉动电流正好相反”。法拉第的实验表明，只有当导线在磁场中来回移动时，才会产生感应电流。这与威斯汀豪斯的解释有异曲同工之妙。注

从电动机的角度来看，交流电的效果最好。这是为什么呢？前文说过，电动机的作用是将电能转化为机械能，然后做功。作家戴维·博达尼斯（David Bodanis）想出了一个巧妙的办法，可以帮助我们理解交流发电机的工作原理。他先想象“一只钟面，上面只有一根长长的分针，正指向12点钟方向”。然后，他在钟面3点钟和9点钟的位置各放置一块电磁铁。接着，他把3点钟位置上的电磁铁打开，让它吸引

那根指针。但在指针即将到达3点钟的位置时，他又把这块电磁铁关掉，同时把9点钟位置上的那块电磁铁打开。这样一来，分针在吸引力的作用下又会向9点钟方向转动。如果不断打开、关闭这两块电磁铁，分针就会按顺时针方向旋转。博达尼斯说，如果磁铁的吸引力足够强，电动机就可以“沿着电梯井把一吨甚至更重的物体运到高楼顶部”，或者推动“有轨电车的车轮往前跑”。[注]

如果说电动机使用交流电的效果最好，那么直流电动机又是如何工作的呢？直流电动机通过一种叫作换向器的装置，机械地改变电流的方向。在格拉茨上学期间，特斯拉说总有一天他会摒弃换向器，以提高电动机的工作效率。这个想法遭到了一位教授的嘲笑，但是，特斯拉后来真的兑现了自己的诺言。[注]

特斯拉的发现和发明不仅对电动机产生了影响，还影响了交流供电系统的所有组成元素。最重要的是，交流电可以长距离传输，因为交流电的电压可以根据需要，方便地从高电压转变成低电压，也就是说，交流电的电压可以变换。例如，利用变压器，就可以改变入户线路的电压。为方便电力输送，人们将电压升高，之后再利用变压器把高电压变成低电压，从而保证家庭用电安全。[注]

特斯拉对科学成果的商业价值也比较关心。1887年，他为自己发明的交流供电系统和感应电动机申请了7项专利。接下来的一年里，31岁的特斯拉前往哥伦比亚大学，在美国电气工程师学会的代表们面前发表演讲，题目是“一种新型的交流电动机和变压器系统”。特斯拉做演讲时，匹兹堡的成功实业家乔治·威斯汀豪斯没有到场，但是后者准备实地考察特斯拉的实验室。参观结束后，威斯汀豪斯感到非常满意，决定与特斯拉合作。他支付了5000美元的现金、价值55000美元的威斯汀豪斯公司股票，还承诺支付专利使用费——每销售一马力电容量就付给特斯拉2.5美元。[注]

威斯汀豪斯的成功之路

1846年10月6日，乔治•威斯汀豪斯出生于纽约州北部。他的父亲老乔治•威斯汀豪斯拥有一家设计、生产农场设备的机械厂，也算得上一名发明家，拥有7项专利。年幼的小乔治在父亲的机械厂里第一次接触到各种机器，其中一台蒸汽机让他尤其感兴趣。12岁时，威斯汀豪斯已经学会了组装蒸汽机，并对建造转子发动机产生了浓厚的兴趣。他那个时代的蒸汽机是往复式发动机，蒸汽推动活塞上下运动，完成一些机械工作。这种垂直运动必须通过各种连杆和转轴才能转换成生产制造所需的旋转力，而这种转换意味着大量的蒸汽动力都被浪费了。1865年，19岁的威斯汀豪斯发明了可避免能量损失的转子发动机，并获得了人生中的第一项专利。随后，他陆续获得了361项专利，他的公司总共拥有3000多项专利。(注)

空气制动器

19世纪下半叶，铁路的发展使美国的煤炭、钢铁、机械和采矿等领域出现了爆炸性增长，为经济的发展提供了动力。年轻的威斯汀豪斯就是借铁路业的东风，在技术和商业领域崭露头角的。事故是铁路业当时面临的一个主要问题，不仅会导致人员伤亡，还会导致收益锐减。列车脱轨后需要耗费大量的时间，才能让它重新回到轨道上来，由此造成旅客滞留、贻误商机的恶劣后果。威斯汀豪斯针对铁路业完成的第一个发明叫作“道岔”，它可以让脱轨列车很快地回到轨道上。为了生产铁路道岔，威斯汀豪斯需要铸钢厂的帮助，他选择的合作对象是匹兹堡的库克和安德森铸钢厂。(注)

南北战争使匹兹堡成为美国的钢铁生产基地和经济发展的动力源，全美45%的钢铁与50%的玻璃都是在那里生产的。因此，安德鲁•卡内基、本杰明•琼斯（Benjamin Jones）、詹姆斯•劳克林（James

Laughlin）等商界领袖纷纷在那儿建立了自己的公司。匹兹堡的工业、发展和创新呈现出欣欣向荣的景象。注

不过，威斯汀豪斯对铁路行业的最大贡献并不是道岔，而是利用他发明的制动系统及信号与道岔装置，提前预防列车事故。威斯汀豪斯第一次产生制造空气制动器的念头，是因为他在纽约州特洛伊市附近遭遇的一次列车事故。当时，火车上每隔几节车厢就要配备一名制动员，通过人工的方式对一节节车厢施加制动力。新式空气制动器的核心理念是让火车工程师独立完成制动：先给制动器施加足够的制动力，再把这些制动力分配给一节节车厢。火车上有锅炉，通过燃烧煤炭产生蒸汽推动火车前进，因此威斯汀豪斯首先考虑用蒸汽来完成车厢制动。蒸汽可以通过管道输送到各节车厢的制动缸，但问题是，蒸汽在输送过程中会发生冷凝，导致制动效果不佳。注

欧洲某杂志刊登过一篇关于矿山工程的文章，称建筑工人已经放弃使用蒸汽，转而使用压缩空气。在意图将意大利铁路和法国铁路连通的塞尼山隧道工程中，压缩空气大大加快了挖掘速度。威斯汀豪斯受此启发，决定尝试新技术。他认为，压缩空气应该也可以用于列车制动。1868年，威斯汀豪斯为一项名为“直通空气制动器”的压缩空气制动技术申请了专利。这项技术利用蒸汽压缩空气，然后大量储存在机车里。需要制动时，工程师通过一根软管将压缩空气输送给各节车厢。压缩空气被释放后，就会将刹车蹄片推向列车车轮，从而使列车停止前进。他的想法遭到投资人的质疑，但是这种制动技术达到了威斯汀豪斯预期的效果——将平均制动距离从1600英尺降至500英尺。注

1869年，威斯汀豪斯建立威斯汀豪斯空气制动器公司，注册资金为500000美元。注这种新式空气制动器的订单如雪片般飞来，让他穷于应付，也迫使他为推动标准化生产做出了重要贡献。1881年，空气制动器已经成为全球客运铁路系统的主导制动技术，英国、法国、德

国、比利时和俄国都有威斯汀豪斯的生产设施。威斯汀豪斯也由此成为美国最大的国际制造商之一，他还是一位千万富翁。更重要的是，他从此有了大规模生产高需求技术产品的重要经验，对他后来进入电气行业大有裨益。注

空气制动器被广泛应用于客运列车，但应用于货运列车却花了很长时间。与客运列车不同的是，货运列车的车厢经常从一家铁路公司转到另一家铁路公司。只有所有公司都使用空气制动器或者铁路设备实现标准化，空气制动技术才能应用于货运列车。1886年，铁路行业呼吁对空气制动器与其竞争技术——真空制动器进行对比实验，以确定孰优孰劣。1889年，空气制动器成为美国火车车厢制造商协会的推荐产品，到1920年，90%的车厢都安装了威斯汀豪斯的制动器。威斯汀豪斯的成功建立在技术创新的基础之上，他在匹兹堡成立的加里森研究中心是一个有活力、产出高的地方。令人印象深刻的是，威斯汀豪斯取得的这些成就并没有借助大银行的投资。注

威斯汀豪斯的电气事业

1885年，威斯汀豪斯开始进军还很年轻的电气行业。那一年，威斯汀豪斯公司的员工吉多·潘塔莱奥尼（Guido Pantaleoni，他的父亲是威斯汀豪斯家族的朋友）前往意大利，约见了两名男子。其中一人是路森·戈拉尔（Lucien Gaulard），他已经建成了一个交流供电系统。此外，戈拉尔和另一名男子约翰·迪克逊·吉布斯（John Dixon Gibbs），共同拥有相关专利。威斯汀豪斯对他们使用的变压器特别感兴趣，于是威斯汀豪斯派遣潘塔莱奥尼代表公司，去找戈拉尔和吉布斯争取在美国市场使用这些技术的权利。传记作家昆汀·斯克拉贝克（Quentin Skrabec）认为，威斯汀豪斯之所以对电气感兴趣，是因为他发明的铁路信号和道岔装置使用的是电力。威斯汀豪斯把他

的加里森研究中心改建成新的电气公司，与爱迪生的门洛帕克实验室展开竞争。㊟

威斯汀豪斯电气公司成立于1886年，注册资本为100万美元，外加27项专利，其中包括戈拉尔—吉布斯技术在美国境内的使用权。威斯汀豪斯指派两名最具创新精神的员工，阿尔伯特·施密德（Albert Schmid）和奥利弗·沙伦伯格（Oliver Shallenberger），负责开发交流电技术。他还启动了一项涵盖交流发电机、交流白炽灯和交流发动机三项内容的计划。在没有银行资金支持的情况下，他创建了三家非常成功的企业：空气制动器公司，联合道岔与信号国际公司，㊟费城公司（天然气供应公司），并且从中获得了相当可观的现金流。不过，威斯汀豪斯无法通过自筹资金满足电气行业的投资需求，他不得不向银行求助，但此举动却给他带来了金融危机。㊟

电流之争背后的卑劣伎俩

随着威斯汀豪斯的交流供电系统取得成功，电流之争也越演越烈。在这种背景下，出现了一个奇怪的小插曲。1888年，电气咨询工程师哈罗德·布朗（Harold Brown）给《纽约晚邮报》（*New York Evening Post*）写了一封信，提出应该通过法律手段禁止人们使用危险的高压交流电。随后，纽约电气控制委员会收到了一项限制电压的提案。布朗还直接找到托马斯·爱迪生，要求他证明交流电的危险性。爱迪生同意帮助布朗，并委派阿瑟·肯内利（Arthur Kennelly）完成这项任务。同一年晚些时候，布朗在哥伦比亚大学矿业学院令人惊愕地用交流电电死了一条76磅㊟重的狗。后来，布朗又做了更多的类似演示。此外，纽约市当时正在寻找一种可以取代绞刑的死刑执行方式。受布朗的启示，有人提议采用电刑。爱迪生对这一想法表示赞同，委员会最终也接受了利用交流电执行死刑的建议。㊟

在电刑成为纽约市执行死刑的合法手段后，布朗迫切地希望得到爱迪生电灯公司和汤姆森—休斯敦电气公司的帮助，把威斯汀豪斯发电机运至奥本监狱，用于执行死刑。这两家公司都答应了布朗的请求。奥本监狱有一个名叫威廉·凯姆勒的犯人被判处电刑，但他的律师对他的判决结果提出了质疑，理由是电刑太残酷了。爱迪生做证说，1000伏特的交流电足以让人迅速死亡，没有任何痛苦。法官在判决时采纳了爱迪生的证词，凯姆勒于1890年8月被处以电刑。然而，这一过程既不迅速，也不是毫无痛苦。《纽约时报》头条说："远比绞刑更糟糕，凯姆勒被处以电刑的过程非常可怕。"第一次的17秒电击并没有让凯姆勒死亡；第二次的62秒电击产生了更加可怕的结果，凯姆勒的血管破裂，身体几乎被烧成焦炭。(注)

布朗和爱迪生的努力不但没能阻止交流电的胜利，还导致爱迪生形象受损，因为他千方百计地阻挠交流供电系统的全面商业化进程。面对爱迪生的肮脏伎俩，威斯汀豪斯应对有方，不仅扩大了知名度，还锤炼了自己的品格。1889年，威斯汀豪斯在《北美评论》（*North American Review*）上发表了"给爱迪生的回复"一文，通过大量翔实的证据，围绕变压器的功能与原理，论证了交流供电系统的安全性。他说，大街上纵横交错的输电线路（街道主电线），与把电力输送到各家各户的线路（室内主电线）从本质上讲是完全不同的。威斯汀豪斯在该文中指出，给"一圈细电线"接通交流电，就会像法拉第证明的那样，在"相邻的一圈粗电线"中产生"等量电能"，这是交流供电系统"最棒的特性之一"。根据设计，这些彼此独立的电线可以施加差值非常大的不同电压。(注)

拿下芝加哥世博会照明系统订单

尽管威斯汀豪斯得到了特斯拉交流供电系统专利权的使用权，而且一直勤奋地致力于交流电的商业化进程，但他在头5年里始终没有取得任何重大进展。威斯汀豪斯团队在技术上做出的一些选择，是造成

商业化进程停滞不前的原因之一。后来，在1893年芝加哥世界博览会（又名“世界哥伦布博览会”）上，威斯汀豪斯终于取得了电流之争的第一次重大胜利。在展会上，电成为人们关注的焦点，威斯汀豪斯的交流供电系统更是出尽风头。在与通用电气展开了激烈竞争之后，威斯汀豪斯拿下了该展会的照明系统订单。通用电气的报价为100万美元；而威斯汀豪斯的交流供电系统由于使用的铜线比较少，再加上变压器，就可以同时为发动机和照明灯具供电，因此报价低至50万美元左右。出于报复心理，通用电气搬来了法院的禁止令，不允许威斯汀豪斯使用任何型号的爱迪生灯泡，威斯汀豪斯不得不改用质量稍差的“塞灯”（stopper lamp）。塞灯是威斯汀豪斯为避免侵犯爱迪生的白炽灯专利权而特意设计、制造的一种灯，爱迪生把白炽灯泡的内部抽成真空，而塞灯则是在灯泡中注入不活泼的氮气。塞灯的寿命较短，但作为这次世博会照明的权宜之计，还是可以满足需要的。[注]

尼亚加拉大瀑布电力项目的成功

靠交流电力系统拿下修建尼亚加拉大瀑布水电站的项目，是一场更加引人注目的胜利。在此前几年里，先后有好几个试图获取大瀑布能量的计划，但是无一成功。1889年，一群银行家成立了大瀑布建筑公司，并引起了包括摩根、范德比尔特和罗斯柴尔德在内的投资者的兴趣。[注]

为了拥有足够大的市场，获取的能量必须能从大瀑布输送到纽约州的布法罗。然而，到底用哪种能量形式来完成跨越20英里的输送呢？对此人们没有达成统一意见。可选的方案有高压水、压缩空气和电，科学家和工程师都倾向于电力输送的方式，但他们很难在交流电和直流电之间做出取舍。[注]

大瀑布建筑公司邀请了世界各地的公司前来投标。截至1893年3月，威斯汀豪斯电气公司和新成立的通用电气公司（爱迪生通用电气

和汤姆森—休斯敦电气合并的产物）都提交了一份交流供电系统的提案。刚开始，大瀑布公司决定自行设计发电机，因此拒绝了这两家公司。最后，威斯汀豪斯对大瀑布公司涡轮发电机的设计方案进行了修改，并开始生产这种机器。1895年，尼亚加拉大瀑布开始发电；1896年，电力被输送到布法罗。㊟

由于尼亚加拉大瀑布项目和芝加哥世界博览会项目在工程技术与经济方面都取得了成功，特斯拉和威斯汀豪斯的交流供电系统在电流之争中赢得了决定性胜利。㊟

特斯拉创造的无线传输奇迹

在尼亚加拉大瀑布项目取得胜利之后，特斯拉功成名就。他对交流供电系统的贡献广受赞誉，他的生活却不是一帆风顺。1895年3月，特斯拉的实验室遭遇火灾，所有的实验记录都化为灰烬。尽管尼亚加拉大瀑布项目让他名声大振，但并没有给他带来多少财富。在与威斯汀豪斯达成的交易中，特斯拉设计的交流供电系统每生产1马力的电，他就可以得到2.5美元的专利技术使用费。按照这项约定，特斯拉本可以赚得盆满钵满。但那时候，威斯汀豪斯正在对抗摩根建立电气托拉斯的做法，他的财务状况也不稳定。于是，威斯汀豪斯告诉特斯拉，他支付不起专利使用费，要求特拉斯放弃这项要求。因为威斯汀豪斯一直对特斯拉信任有加，心存感激的特斯拉便同意放弃收取专利使用费。然而，这个决定最终却导致特斯拉陷入财务困境。㊟

特斯拉想继续从事无线传输的研究，因此他迫切需要一个新的实验室和资金支持。1895年，特斯拉的研究欲望越发强烈了，这是因为无线通信技术取得了长足的发展。当时，吉列尔莫·马可尼（Guglielmo Marconi）建立了一个可以在1.5英里的范围内收发摩尔斯电码的无线传输系统，但是特斯拉认为自己建成这套系统的时间比

马可尼要早。1893年，特斯拉就曾展示过自己的这套系统。这套系统具备现代无线电技术的所有元素，并于1900年帮助他获得了他的第一个专利。几乎同时，马可尼于1896年在英国第一次提交了专利申请，1900年在美国再次提交了专利申请。在随后的三年时间里，美国专利局一直认为特斯拉的专利拥有优先权，因此拒绝了马可尼的专利申请。但是，1904年，美国专利局又推翻了自己的决定，接受了马可尼的专利申请，但没有明确说明原因。1909年，马可尼获得了诺贝尔奖。1915年，愤懑不已的特斯拉向法院提出了专利侵权诉讼。虽然他无力支付诉讼费，但在1943年，也就是特斯拉去世多年之后，美国最高法院判定特斯拉是无线电的主要发明者。法院为什么在那时审理此案呢？有人认为，这是因为马可尼公司起诉美国政府在第一次世界大战中侵犯了它的专利权。在美国最高法院承认特斯拉的专利权之后，马可尼公司的诉讼就不成立了。这个说法得到了很多人的认可。㊟

特斯拉的无线电研究与电的历史密切相关，因为他相信，既然他可以发明无线电波的无线传输技术，那么他也可以发明电能的无线传输技术。这种信念的直接结果就是两个分别在科罗拉多州的科罗拉多斯普林斯市与纽约州长岛市完成的惊人实验。特斯拉从纽约华尔道夫酒店老板约翰·雅各布·阿斯特（John Jacob Astor）上校那里获得了3万美元的资金支持，阿斯特的朋友伦纳德·柯蒂斯（Leonard Curtis）帮助特斯拉提供了在科罗拉多州建立实验室所需的地皮和电力。1899年5月，特斯拉在科罗拉多斯普林斯建立了一个实验室。这是一座看上去很普通、与谷仓比较相像的建筑，顶部是一个木塔，塔高80英尺，外观奇特，与老式石油井架相似。塔上还有一根142英尺高的细长桅杆，桅杆的顶端有一个铜球。㊟

这座建筑里有一个巨大的特斯拉线圈。1891年，特斯拉为他的这个线圈申请了专利。特斯拉线圈其实是一个转换器，既可以把电的频率由常见的60赫兹提高到数十万赫兹，又可以把电压增加至极高的水

平，对特斯拉的高频高压电研究具有非常重要的意义。后来，他徒劳无果的电能无线传输研究也沿用了这个模式。(注)

特斯拉预测，除了无线传输电报信息以外，人类还可以“在任意距离内沿地面传输任意多的能量，而且几乎没有任何能量损失”。特斯拉的传记作家玛格丽特·切尼（Margaret Cheney）和罗伯特·乌特（Robert Uth）引用了一份报告，称特斯拉在实验室里点亮了260英里外的200盏白炽灯，成功地证明了他自己的观点。但是，两位作家也说，没有证据能够证明他的这个实验取得了成功，也没有人再次实现这一壮举。

闪电会导致断电，特斯拉的人造闪电也有这样的破坏力——它烧毁了科罗拉多斯普林斯市的发电机，导致全市停电。特斯拉在科罗拉多斯普林斯市的实验持续了9个月的时间，尽管几乎没有证据能够表明他曾经通过无线方式传输电能，但他似乎对自己所学到的东西感到心满意足。在1900年返回纽约之前，他说：“这个系统的实用性已经得到了充分证明。”(注)

特斯拉的朋友罗伯特·约翰逊（Robert Johnson）和凯瑟琳·约翰逊（Katharine Johnson）听说了他在科罗拉多斯普林斯市的实验后很感兴趣。在罗伯特的邀请之下，特斯拉为《世纪》（*Century*）杂志撰写了一篇题为“人类能源的增长”的文章。在文章中，他从未来的角度阐述了电的重要性，还介绍了他关于能源的一系列想法，包括获取、储存闪电携带的能量和太阳能。特斯拉的文章吸引了J.P.摩根的注意力，摩根出资15万美元帮特斯拉建造了一座发电厂和一座塔。特斯拉在长岛附近的沃登克里弗选中了一块面积为200英亩(注)的土地。1901年，沃登克里弗塔开始建造，这座巨塔高187英尺，顶部有一个55吨重的钢球。(注)

不幸的是，摩根半路上决定不再继续支持特斯拉了，这与他当初做出支持特斯拉的决定同样突然。1901年，当马可尼成功地实现了跨越大西洋的无线通信时，摩根开始怀疑特斯拉用他提供的资金建造的那座塔是否有效。1902年，特斯拉用完了手头的资金，他找到摩根请求得到更多的资金支持，但遭到了摩根的断然拒绝。1905年，由于财务问题，特斯拉不得不停止他的研究，并将建造中的沃登克里弗塔，连同尚未支付的2万美元酒店账单，一起移交给华尔道夫酒店。注

1916年，年近60岁的特斯拉穷困潦倒，不得不申请破产。此时，美国电气工程师协会授予他爱迪生奖章，这与特斯拉陷入财务困境不无关系。刚得知自己获奖的消息时，特斯拉感到非常愤怒，他认为协会颁给他以爱迪生的名字命名的奖章是对他的一种侮辱。但是，由于财务困境，特斯拉最终同意接受这个奖项，颁奖仪式于1917年举行。注

1931年，人们为特斯拉举办了75岁生日庆典，《时代周刊》杂志的封面上刊登了著名的肖像画家洛夫-帕拉吉王妃（Princess Lwoff-Parlaghy,是某位俄国王子的王妃，但是她的婚姻并没有维持很长时间）于1916年创作的特斯拉的蓝色肖像。根据特斯拉的建议，画家在创作这幅肖像画时采用的是人造光：由大功率的白炽灯泡发出后又经过蓝色玻璃过滤的光。注

1937年，特斯拉在去布莱恩特公园喂鸽子的路上，被一辆出租车撞伤了，他拒绝了他人的帮助，独自一人回到旅馆。由于担心特斯拉的财务状况，威斯汀豪斯公司每月付给他125美元的生活补贴。1942年，一个朋友震惊地发现特斯拉竟然只靠温牛奶和饼干度日。1943年1月7日，特斯拉在纽约客酒店于睡梦中孤独地离开了人世。

遭到排挤

威斯汀豪斯继续推动蒸汽涡轮机取代蒸汽发动机的步伐，为降低发电成本做出了重大贡献。蒸汽涡轮机是英国的查尔斯·帕森斯（Charles Parsons）爵士于1884年发明的。威斯汀豪斯获得了帕森斯专利技术的美国使用权，成为美国第一个蒸汽涡轮机制造商。

在为自己的企业融资时，威斯汀豪斯一如既往地回避大银行，而是在较小的圈子里寻求亲朋好友的现金和股权投资。他本人也投入了大量资金，不过并没有押上全部身家。1907年，受全国性金融危机的影响，投资者们纷纷要求威斯汀豪斯偿还贷款。结果，他有三家公司（威斯汀豪斯电气公司、机械公司和证券投资公司）破产或进入破产保护状态。他的另外两家公司（空气制动器公司、联合道岔与信号国际公司）因为没有债务而在金融危机中幸存下来。

1908年，从银行贷走大笔资金的威斯汀豪斯电气公司必须通过一项重组计划，将公司的债务转变成股权，其结果是公司成立了新的董事会。尽管威斯汀豪斯继续担任公司总裁，但是他的权力受到了极大的限制。1911年，威斯汀豪斯被彻底挤出了这个行业，他的下场与爱迪生惊人地相似。㊟

威斯汀豪斯和特斯拉留给世人的遗产

与爱迪生一样，威斯汀豪斯和特斯拉在电气行业商业化的进程中，也做出了难以想象的巨大贡献。爱迪生凭借一己之力，独自打造出直流供电系统，威斯汀豪斯与特斯拉则并肩作战，建造了商业规模的交流供电系统。值得注意的是，他们在创建这个系统时，首先做的就是改善电力应用技术，这一点与爱迪生也非常相似。爱迪生从灯泡入手，威斯汀豪斯和特斯拉则选择以电动机作为突破口。但是，随着电力公司把注意力转向电力生产，这些足以改变人类日常生活方式及生活水平的发明逐渐淡出了他们的视野。

在电的历史上做出更重要贡献的人到底是爱迪生，还是威斯汀豪斯与特斯拉呢？要知道，完成旅程的最后一步并不比开启旅程的第一步更加重要。是的，特斯拉和威斯汀豪斯正确地选择了交流电这个发展方向，但爱迪生坚守的直流电却是一个非常重要的比较对象，告诉我们交流电才是更明智的选择。离开任何一方的重要贡献，电力事业的前进步伐都会受到影响。事实上，在竞争的刺激之下，他们的表现与常人十分相似，双方前进的步伐迈得更快，面对风险的勇气也更大。

威斯汀豪斯在发现、招揽人才这方面或许比爱迪生更胜一筹，两人对待尼古拉·特斯拉的不同态度就是一个很好的例子。此外，在匹兹堡申利公园的威斯汀豪斯纪念碑上有这样一句话："1930年10月6日，我们谨立此碑，向创建伟大企业的乔治·威斯汀豪斯表达来自6万名员工的尊敬、爱戴与忠诚之情。"[注]

在2003年开展的一项调查中，调查者请58位历史学和管理学教授评选出"美国历史上最伟大的企业家和商人"。结果，排在前五名的是亨利·福特、比尔·盖茨、洛克菲勒、安德鲁·卡内基和托马斯·爱迪生。乔治·威斯汀豪斯排在第20位，这个排名也很不错，但不如爱迪生。威斯汀豪斯在铁路运输和电力这两个当时的新兴行业中都有着巨大的影响力，从取得的成就以及过程来看，他的排名其实应该更靠前一些。[注]

更重要的是，威斯汀豪斯借助特斯拉发明的科学技术，在电流之战中取得了胜利。随后，威斯汀豪斯将特斯拉的科学天赋与自己在商业方面的才能融合在一起，通过大规模、大范围的技术应用，为电力行业未来几十年的发展提供了动力。我们将在下一章看到，塞缪尔·英萨尔就是借鉴威斯汀豪斯的做法实现了规模经济和范围经济，让更多的家庭和企业实现了电气化。

1. George Westinghouse Jr.,“A Reply to Mr.Edison,”The North American Review149,no.397 (1889): 656.
2. Rebecca Jacobson,“8 Things You Didn’t Know About Nikola Tesla.” PBS Newshour,July 10,2013,accessed October 1,2016, <www.pbs.org/newshour/rundown/5-things-you-didnt-know-about-nikola-tesla/>.
3. Margaret Cheney and Robert Uth,Tesla: Master of Lightning (New York: Barnes& Noble,2001),16–20,53.
4. “Tesla: Life and Legacy,Coming to America,”PBS,accessed October 1,2016,<www.pbs.org/tesla/ll/ll_america.html>.
5. George Westinghouse Jr.,“Sir Wm.Thomson and Electric Lighting,” The North American Review 150,no.400 (1890): 323.
6. David Bodanis,Electric Universe: The Shocking True Story of Electricity (New York:Random House,2005),47–49.
7. Margaret Cheney,Tesla: Man Out of Time (New York: Simon & Schuster,2001),40.
8. Westinghouse Jr.,“Sir Wm.Thomson and Electric Lighting,” 324.
9. “Tesla: Life and Legacy,War of the Currents,”PBS,accessed October 1,2016,<www.pbs.org/tesla/ll/ll_warcur.html>;A New System of Alternate Current—Motors and Transformers,”PBS,accessed October 1,2016.Originally read before the American Institute of Electrical Engineers,May 16,1888,accessed October 1,2016, <www.pbs.org/tesla/res/res_art02.html>.
10. Quentin Skrabec,George Westinghouse: Gentle Genius (New York: Algora Publishing,2007),28–29,32.
11. Skrabec,Gentle Genius,33–38.
12. Skrabec,Gentle Genius,37–38.
13. Skrabec,Gentle Genius,39–41.
14. Skrabec,Gentle Genius,45.
15. Skrabec,Gentle Genius,42,45,47.
16. Skrabec,Gentle Genius,48,68.
17. Skrabec,Gentle Genius,77–79,82–83.

18. Henry Goslee Prout, A Life of George Westinghouse (Ann Arbor: University of Michigan, 1921), 100－102; Skrabec, Gentle Genius, 89, 100.

19. Prout, A Life of George Westinghouse, 10－11.

20. Prout, A Life of George Westinghouse, 10, 11, 19, 113; Skrabec, Gentle Genius, 77, 103, 106.

21. 1磅≈0.45千克。——编者注

22. Thomas P. Hughes, “Harold P. Brown and the Executioner’s Current: An Incident in the AC-DC Controversy.” The Business History Review 32, no. 2 (1958): 146－58, 151.

23. Hughes, “Executioner’s Current,” 156－61; Stuart Banner, The Death Penalty: An American History (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2009), 186. “Far Worse Than Hanging; Kemmler’s Death Proves an Awful Spectacle. The Electric Current Had to Be Turned on Twice before the Deed Was Fully Accomplished,” New York Times, August 7, 1890.

24. Westinghouse, “A Reply to Mr. Edison,” 658－59.

25. Prout, A Life of George Westinghouse, 4, 134－37; Skrabec, Gentle Genius, 139－40.

26. Harold I. Sharlin, “The First Niagara Falls Power Project,” The Business History Review 35, no. 1 (1961): 62－63.

27. Sharlin, “The First Niagara Falls Power Project,” 65－69.

28. Sharlin, “The First Niagara Falls Power Project,” 71－73.

29. Sharlin, “The First Niagara Falls Power Project,” 74.

30. Cheney and Uth, Tesla: Master of Lightning, 53, 63.

31. “Tesla: Life and Legacy, Who Invented Radio?” PBS, accessed October 1, 2016, <http://www.pbs.org/tesla/ll/ll_whoradio.html>.

32. Cheney and Uth, Tesla: Master of Lightning, 85－86, 93 (photo).

33. Cheney and Uth, Tesla: Master of Lightning, 36－37, 86－87.

34. Nikola Tesla. “The Transmission of Electrical Energy without Wires,” Scientific American, supplement 1483 (June 4, 1904), p. 23761; Cheney and Uth, Tesla: Master of Lightning, 89－93, 95.

35. 1英亩≈4046.86平方米。——编者注

36. Cheney and Uth, Tesla: Master of Lightning, 97－100; Nikola Tesla, “The Problem of Increasing Human Energy,” PBS, accessed October 1, 2016,

<http://www.pbs.org/tesla/res/res_art09.html>.

37. Cheney and Uth, Tesla: Master of Lightning, 104 - 105, 107.

38. Cheney and Uth, Tesla: Master of Lightning, 121 - 22.

39. "Letters to Nikola Tesla on His 75th Birthday in 1931 from Pioneers in Science and Engineering," Tesla Memorial Society of New York, accessed October 1, 2016, <http://www.teslasociety.com/letters.htm>; "Tesla's Portrait Shown," New York Times, March 2, 1916.

40. Prout, A Life of George Westinghouse, 280 - 81.

41. "Westinghouse Memorial," Westinghouse Memorial, accessed October 1, 2016, <www.westinghousememorial.org/story.htm>.

42. Blaine McCormick and Burton W. Folsom Jr., "A Survey of Business Historians on America's Greatest Entrepreneurs," The Business History Review 77, no. 4 (2003): 703 - 16.

第7章　英萨尔的电力帝国

……以实玛利、英萨尔均为人民公敌。

——富兰克林·罗斯福（1932）注

爱迪生、威斯汀豪斯和特斯拉将发电厂、电灯泡、电动机等各项技术推向市场，从而开创了电力行业。塞缪尔·英萨尔则让电变成人人用得上并且用得起的资源，从而开创了电能业务。

1881年，21岁的英萨尔从英国移民美国。他的目标非常明确，就是给托马斯·爱迪生当私人秘书。在成为爱迪生团队中一名值得信赖的成员后，他为爱迪生公司建立了理性和健全的财务制度。尽管爱迪生最终被赶出了爱迪生通用电气公司，英萨尔却收到了在通用电气公司担任重要职位的邀请。然而，英萨尔拒绝接受。1892年，他决定去规模比通用电气小得多的芝加哥爱迪生公司担任总裁一职。英萨尔认为，电力行业的未来是电能销售，必须通过像芝加哥爱迪生公司这样的电力公司生产电能，并将电能输送和销售给家庭和企业，而不能依靠像通用电气这样的设备制造公司。芝加哥是美国最大、最重要的商业城市之一，也是英萨尔检验电能对美国的潜在重要性的理想试验田。很快，英萨尔就成为芝加哥最重要的市民之一。

在芝加哥的新基地建成之后，英萨尔开始甄选并采取各种经营和管理措施，以大幅削减成本，进而降低电的价格。他渴望找到新的电能客户，因为发电与电能输送的成本是固定的，分担成本的用户越多，平均电价就会越低。这就是英萨尔等人为当地电力公司的自然垄断行为进行辩解而提出的规模经济和范围经济概念。

虽然英萨尔希望在芝加哥（以及其他地方）取得电能销售的垄断权，但他与那些追求利润的商人不同，他没有利用垄断权抬高电价，而是降低电价。英萨尔希望拥有的并不是没有任何约束的垄断权；事实上，他提出由州政府对电价进行监管。

刚掌舵芝加哥爱迪生公司时，英萨尔还是一个名不见经传的人，但他带领公司迅速崛起，昂首挺进芝加哥乃至全美的电力市场。然而，最令人难忘的还是他重重地从云端摔下来的事情。由于他的战略失误，再加上芝加哥和纽约的银行在大萧条期间采取了通货紧缩政策，芝加哥爱迪生公司的经济状况急转直下。随后，大大小小的政客纷纷落井下石，使得英萨尔的政治利益和个人财产又蒙受了更大的损失。在大萧条早期，英萨尔的投资控股公司破产，他因此成为政客们的攻击目标，因为他们需要为美国经济的崩溃找一个替罪羊。在这些政客中，最有名的就是时任纽约州州长的富兰克林·罗斯福。他引用《圣经》中的故事，对英萨尔进行了严厉斥责："……以实玛利、英萨尔均为人民公敌。"注

英萨尔决定前往欧洲休养一段时间。在巴黎，他听说美国联邦政府和地方政府对他提出了邮件欺诈、违反破产法和挪用公款等指控，于是他逃到希腊，以免被引渡回美国接受审判。美国国会施加国际压力，最终英萨尔被带回芝加哥受审。在为自己辩护时，英萨尔侃侃而谈，讲述了他非凡的一生，包括他追随爱迪生，以及他为了让人人都用得起电而努力扩大公司规模的经历。听完他的陈述，法院明确宣布他无罪。

处女秀

1874年，14岁的英萨尔成了一名伦敦拍卖师的办公室勤杂工，开始了他的职业生涯。有一次，英萨尔在《斯克里布纳月刊》

（*Scribner's Monthly*）上读到了一篇介绍年轻发明家托马斯·爱迪生的文章。从那时起，爱迪生就成了英萨尔的偶像。19岁时，英萨尔遭遇不公，为了给客户的儿子腾职位，老板将他解雇了。英萨尔从一则广告上看到某位美国银行家正在招聘秘书，于是他前往应聘。由于他提出的薪金要求比其他人都低，他赢得了这个职位。后来他才发现，他的新雇主乔治·高洛德（George Gouraud）上校是爱迪生公司的欧洲代表。注

在英萨尔开始新工作后不久，爱迪生公司的首席工程师爱德华·约翰逊（Edward Johnson）来到伦敦。英萨尔勤勤恳恳的工作态度以及他对爱迪生欧洲公司的深入了解，给约翰逊留下了深刻印象。因此，约翰逊建议爱迪生雇用英萨尔担任他的私人秘书。1881年，英萨尔开始了他在纽约的新工作。英萨尔的传记作者弗雷斯特·麦克唐纳（Forrest McDonald）说，爱迪生和英萨尔第一次会面时，对对方都感到很失望。在爱迪生眼中，英萨尔太过稚嫩，而且说话有口音，很难听懂他在说些什么。此外，英萨尔整洁的衣着也让爱迪生不是很满意。而在英萨尔眼中，爱迪生的胡子刮得不干净，衣服破旧，一口中西部口音也很难听懂。尽管如此，爱迪生毕竟发明了股票行情自动收录器、多路电报系统、留声机和送话器，而且都是在34岁之前完成的，这给英萨尔留下了深刻印象。注

当时，爱迪生正身处困境。一方面，他需要钱来建立他的电力系统；另一方面，投资人投入的50万美元在研发阶段就已经用完了，他们不愿意在制造和设备上追加资金。为了筹集资金，爱迪生决定卖掉他手中价值最高的那些欧洲证券，也就是电话公司的那些证券。英萨尔来自爱迪生公司伦敦办事处，对此他胸有成竹，在来到纽约的第一天凌晨4点，就已经写好了一份详细的资产出售计划。这次“处女秀”之后，英萨尔成为爱迪生手下的金融奇才。注

爱迪生必须自筹资金还有另外一个原因。虽然他坚信一个大型中央发电站就可以为一个区域的所有用户提供电力服务，但是许多银行认为，从金融投资的角度看，建立分散的小型发电厂更加安全。因此，这些银行不知道是否应该投资爱迪生的大型中央发电站。爱迪生指派英萨尔负责中央发电站计划。1886年，中央发电站的业务出现爆炸性增长，爱迪生公司需要制造更多的设备。为了提升制造能力，英萨尔在纽约州的斯克内克塔迪市找到一个废弃的机车厂。爱迪生把他的大部分制造业务都搬到那里，并让英萨尔全权负责。他告诉英萨尔："放手去干！要么轰轰烈烈的成功，要么轰轰烈烈的失败。"经过一番努力，英萨尔取得了轰轰烈烈的成功。1886年，他的手下只有200名员工；截至1892年，他手下的员工总数达到6000人。

独创性的定价方案

从一开始英萨尔就明确表示，他想要尽可能地降低价格，让电可以为人所用。1892年，芝加哥的人口有100万，但只有5000个电能用户。当时，英萨尔比其他任何人都明白，电力公司想要赢得新用户，就必须解决好定价问题。这个问题源于一个物理事实：电不同于其他能源，它无法有效地大规模存储。以汽车使用的汽油为例，炼油厂从原油中提炼出汽油后，可以把它储存起来，以备将来使用。而除了少数情况以外，电能一生产出来就必须立刻使用，即何时需要，何时生产。因此，要满足电能的最大或峰值需求，就必须大量建造发电厂，大量铺设输电线路，但在非高峰阶段，这些设备又将处于闲置状态。

尽管如此，英萨尔还是决心降低电价。最有效的办法是，在输电线路、发电厂数量保持不变的前提下销售更多的电，让更多的用户分担固定成本，从而使人均费用更低。在英萨尔的计划中，降低电价的

关键在于利用同样的设备销售更多的电，这就要求用户在一天或一年中的用电时间段有所不同。一方面，照明用电的用户需要在天黑之后用电；另一方面，运营有轨电车的公交用户需要在白天用电，二者配合有助于实现电能用户多样化。此外，电动机连轴转的大型工厂是英萨尔心中最理想的用户。为了让他独创的商业模式奏效，英萨尔不辞辛苦地追逐这些用户。但是，他面临一个难题：公交车公司和大型工厂往往都是自己发电。英萨尔为此想尽一切办法，让这些用户从他的电力公司购电。㊟

接下来，英萨尔决定制订一套可行的定价方案，鼓励用户从电力公司购电，延长用电时间，增加用电量。1894年，英萨尔在去伦敦的途中，从一个名叫亚瑟·怀特的人那里听说了“两部制电价”这个概念。两部制电价包含两个部分：一部分用于收回发电和输电的固定成本，比如电厂建设贷款的月供；另一部分则用于收回变动成本，比如发电所消耗的煤炭成本。大型工业用户发现两部制电价非常有吸引力，在这种定价机制下，他们可以24个小时不间断地用电，而且用电量不受限制。当实际用电量非常大时，分摊到每千瓦时上的平均固定成本就会很低。出于同样的原因，公交用户也发现两部制电价很有吸引力。它就好像一种自助餐，用户每月缴纳固定费用，就可以随时“就餐”，而且“想吃多少吃多少”。㊟

英萨尔计划把他的电力公司的电能变成所有人都用得上也用得起的服务，培养多样化的用户群、实施创新性的两部制电价体系，是英萨尔为这个计划做的两种重要准备。

更先进的设备和技术

英萨尔还购买并安装更大、更好的发电与输电设备，为他的计划做好了第三种重要准备。他在芝加哥建立了一个创新型发电厂，地址

就选在哈里森街。这座发电厂提高了煤转电的效率，使煤炭的使用量减少了一半。[注]

此外，英萨尔努力完成对发电基本技术的改良，弃用蒸汽机，改用蒸汽涡轮机。可以说，英萨尔把这项技术提升到了极致。通用电气同意英萨尔的建议，建造5000千瓦的蒸汽涡轮机，前提是英萨尔必须分担风险。在随后的10年里，英萨尔致力于建造35000千瓦的蒸汽涡轮机，以进一步扩大发电厂的规模。通过这些举措，英萨尔逐步实现了规模经济，电价不断下降。[注]

腐败的政治体系催生新的监管方式

在英萨尔生活的那个腐败时代，芝加哥的地方政治也不可能独善其身，买卖市议会选票的现象成为一种常态。众所周知，市议会通过虚设公用事业机构，勒索那些电力公司。这些虚设的机构的真正主人就是市议会的议员，它们从未运营，但它们拥有长期的特许经营权，这意味着真实存在的公用事业公司必须将这些虚设的公司买下来，才能获得经营权。1897年，市议会意图用这种手段勒索英萨尔，由议会成员虚设一家联邦电力公司，并赋予它50年的公共服务特许经营权。如果市议会的阴谋得逞，英萨尔就只能将这家联邦电力公司买下来，但最终的胜利者是英萨尔。英萨尔拥有代表芝加哥向所有美国制造商购买设备的独家权，而芝加哥市议会对此并不知情。如果市议会虚设的联邦电力公司无法购买设备，它的价值就会大幅缩水。在这种情况下，英萨尔只支付了一笔数额不大的费用给市议会的议员，就获得了50年的特许经营权。[注]

随后，英萨尔提议，电力公司在定价时，应该受到州政府的监管。而作为交换，电力公司将得到专享的垄断权，即为一座城市或某个地区提供电力服务的专有权。州政府根据电力服务的实际成本和正

常利润确定电价或“公用事业服务费”，由公用事业公司向用户收取（因此，这种定价方法被称为成本加成定价法）。价格监管是英萨尔为他的计划所做的第四种重要准备。注

令人惊讶的是，英萨尔并不是唯一一个支持价格监管的人。帮助电力公司四处游说的组织——美国国家电灯协会，认为政府监管不仅是解决政治腐败问题的一剂良药，还可以用作城市接管公用事业的替代方案。1907年，另一个备受瞩目的组织——美国全国公民联盟（英萨尔在该组织中担任要职），发布了一份关于监管原则的三卷研究报告。后来，这份报告成为各州制定监管法律的总体蓝图，并直接促成威斯康星州铁路委员会的成立，由约翰·康芒斯（John Commons，当时是威斯康星大学的著名经济学家，也是美国全国公民联盟的成员）完成了有关法律文件的起草工作。继威斯康星州之后，马萨诸塞州和纽约州在1907年制定了公用事业监管法规。在接下来的9年里，又有30个州加入这个行列。注

地方垄断权对英萨尔的战略具有至关重要的意义。垄断权使公用事业的规模不断扩大，从而实现规模经济。规模经济又使得成本下降，用户购买价格降低，这有利于垄断权的进一步拓展，为实现规模经济和范围经济创造更多机会。总之，这是一种良性循环。只要规模经济持续存在，而且追求的目标是更高的电能销售额，它就是一个有益的战略。

英萨尔提出，如果芝加哥同意他的两家公司（芝加哥爱迪生公司和联邦电力公司）合并，他就会降低电价。注1907年，英萨尔实现了他的合并计划，创建了联邦爱迪生公司。今天，这家公司（现为爱克斯龙电力公司的子公司）仍在为伊利诺伊州70%的客户提供服务。

商界巨星的崛起

1907年，48岁的英萨尔收获了丰硕的成果。他经营的电力公司取得了成功，美国各地的电力行业也取得了成功，这是因为它们借鉴了英萨尔创建的商业模式。英萨尔推动了垄断监管体系的建立，使规模经济得以实现。在这个过程中，他努力实现自己的目标——让所有人都用得上也用得起电，“电于人而言就像呼吸一样自然和必要”。[注]

英萨尔通过不断扩大服务范围、降低电价，来实行自己的计划。1910年，英萨尔借助湖郡实验，向世人表明他可以利用远距离输电线路，将电能从中央发电站输送到人口少的农村，从而降低这些地区的电价。1911年，英萨尔发现了帮芝加哥以外地区的用户大幅节省电费开支的可能性，就成立了伊利诺伊州北部公共服务公司。英萨尔通过计算发现，伊利诺伊州的用电需求呈现多样化的特征，如果由一家电力公司为该地区提供服务，就可以节省38%的发电能力，削减一半的成本。[注]

1912年，英萨尔公司的资产规模为9000万美元，主营业务是为芝加哥提供电力服务。截至1917年，他的资产规模增加了三倍多，达到4亿美元，为13个州提供电力、天然气和通信服务。1912年，英萨尔创建了他的第一家控股公司——中西部公用事业公司。同年，中西部公用事业公司收购了伊利诺伊州中部公共服务公司，后者拥有一家运输公司和一家小型电力公司。此前，这家公司周围的社区没有使用任何电力服务，英萨尔通过向它们提供服务，使公司得到了迅猛发展。英萨尔公司最初约有15000名用户，用电量为1500万千瓦时；至公司由盛转衰，用户数量多达15万，用电量多达4亿千瓦时。可以肯定的是，控股公司的所有权和金融结构都非常复杂，一旦审查起来就很容易发现问题。在大萧条时期，这类公司甚至会被放到“显微镜”下仔细检查。容易招致怀疑的问题很多，比如股价虚高、控股公司对其子公司收费过高等。然而，对于英萨尔来说，控股公司只是促进公司发展的工具，它可以把电价降下来。[注]

除了上述成功，英萨尔还担任人民能源公司的董事长，以清除公司内部的腐败问题，恢复公司的信誉。[注]第一次世界大战期间，英萨尔非常积极地参与社区服务。作为伊利诺伊州国防委员会主席，他还为伊利诺伊州参战提供了支持，并因组织管理的创新性和高效率而赢得伊利诺伊州州长的赞扬。[注]英萨尔在“一战”期间的作为提升了他的声誉，也使他的电力帝国迅速崛起。美国参战后不久，煤炭的价格一路飙升。[注]值得赞赏的是，英萨尔公司没有受到煤价飙升的影响，也没有遭遇供应中断的麻烦，因为他与皮博迪能源公司签订了长期合同。[注]尽管他已经是一位非常成功的商人，但英萨尔也倡导联邦政府控制煤炭价格，实施政府监管。美国政府接受了他的建议，通过设定价格上限，使煤炭价格降至原来的一半。[注]

1914年，伊利诺伊州成立公用事业委员会。在这之前，英萨尔一直在努力促成这个重要的政府监管机构的成立。[注]然而，芝加哥和其他城市几乎同时派人四处游说，要求重新回归“地方自治”，由各个城市监管各自的公用事业。[注]在美国参战后，刚成立的伊利诺伊州公用事业委员会很快就被卷入了另一场政治变革，成为反战的政治人抨击的首要目标，指责其利用战争牟取暴利。[注]中西部地区的进步主义运动领袖，比如威斯康星州参议员、前州长罗伯特·拉福莱特（Robert La Follette）和乔治·诺里斯（George Norris）等知名人士，都加入了这场运动。[注]

各个领域的公用事业公司不断地向监管委员会提出申请，希望在战后提高定价。遭到拒绝之后，许多公司都破产了，要求废除伊利诺伊州公用事业委员会的呼声越来越高。1920年，面对地方自治的狂潮，伊利诺伊州议会解散了公用事业委员会。在公众的讨伐声平息下来后，英萨尔立即采取行动，倡导重建监管委员会。他采取了改名字这个简单的办法，成立了伊利诺伊州商业委员会（这个名字沿用至今）。[注]

战后，英萨尔成为一颗冉冉升起的明星。正如麦克唐纳所言，“在崇尚英雄的战后10年里，英萨尔成了商界的贝比·鲁斯（美国职业棒球运动员）、杰克·邓普西（美国重量级拳王）、哈罗德·格兰奇（美国橄榄球明星）。投资他公司股票的那些人，包括屠夫、面包师、烛台匠人等，都非常崇拜他，就连业界巨头也对他怀有敬畏之心。他完全符合美国人的理想自画像：一个富有、强大、白手起家的巨人，打击敌人时冷酷无情，对待弱小者时慷慨仁慈。注

经济上的失败

1928年，赛勒斯·伊顿（Cyrus Eaton）开始大量购买英萨尔公司的股票。针对伊顿的恶意收购威胁，英萨尔做出了回应，但这也拉开了他在经济上走向失败的帷幕。为了防止伊顿持股比例过高，英萨尔创立了一家信托公司——英萨尔公用事业投资公司（IUI）。英萨尔和他的朋友们把他们持有的运营公司股票都卖给了这家投资信托公司，以换取后者的股票。然后，他们准备通过这家投资公司购买其中4家大型运营公司足够多的股份，以拥有控制权，从而阻止伊顿的恶意并购。英萨尔将IUI股票的初始价值设定为每股12美元，然后他打算以每股15美元的价格大量购买IUI的股票。在随后的几个月里，IUI的股价飙升至每股150美元，运营公司的股票价格也一路飙升。这让英萨尔试图获取控股权的计划破灭了，因为他需要投入巨额资金才能买到足够多的股票。1929年，英萨尔建立了第二家信托公司——芝加哥公司证券投资公司（简称Corp）。IUI和Corp相互持股，旨在构筑应对恶意并购的第二道防线。注

但是，这些措施仍然无法化解危机。最终，英萨尔同意购买伊顿手中的股份，但他只能通过借贷的方式才能筹足资金。他为这笔银行贷款提供的抵押品是IUI和Corp这两家公司的股票。由于IUI和Corp股

票的价格取决于英萨尔公司的股价，如果英萨尔公司的股票价格下跌，IUI和Corp的股价也会下跌。这种情况随着大萧条时期的到来而发生了。由于IUI和Corp的股票是银行贷款的抵押品，随着股价下跌，越来越多的IUI和Corp股票变成了抵押品。也就是说，银行对英萨尔公司的控制权在逐渐增加。截至1931年12月中旬，IUI和Corp的所有股票都变成了银行贷款的抵押品。[注]

1932年4月，英萨尔前往纽约，商讨为中西部公用事业公司的1000万美元债务再次融资的事宜。[注]麦克唐纳称，摩根财团的人走进房间，他们请英萨尔在外面等候，然后宣布银行不会再贷款给英萨尔。因为区区一笔1000万美元的贷款，价值15亿美元的中西部公司被政府接管破产在管状态，IUI和Corp也没能逃脱这样的命运。1932年6月，英萨尔被迫辞去了他的职务。正如英萨尔所言，银行“认为我对它们不再有任何价值，因此抛弃了我”。[注]

政治上的失败

银行榨干了英萨尔的钱包，夺走了他的公司控制权，然后就与他断绝了关系。政客们看到有机可乘，开始对英萨尔发起攻击。英萨尔的政治灾难其实早就埋下了伏笔。20世纪20年代中期，英萨尔向伊利诺伊州商业委员会主席弗兰克·史密斯（Frank Smith）提供了大笔资金，资助他竞选美国参议员。英萨尔直接提供给史密斯12.5万美元，还给他的某项活动赞助了33735美元。密苏里州的参议员詹姆斯·里德（James Reed）随后对伊利诺伊州和宾夕法尼亚州的竞选活动进行了调查。1926年，在参议员拉福莱特的通力合作下，里德领导的委员会在芝加哥举行了听证会。媒体日复一日地对英萨尔进行不间断的攻击，最终，由于英萨尔参与了史密斯的竞选活动，美国参议院不同意史密斯就任参议员。[注]

1932年是选举年，对英萨尔来说，这无异于雪上加霜。伊利诺伊州库克县地方检察官、共和党人约翰·斯旺森（John Swainson）正面临着一场艰难的连任竞选。尽管斯旺森尊重英萨尔，但是为了连任竞选获胜，他仍然宣布对英萨尔在经济上的失败进行调查。斯旺森的调查成为媒体的头条新闻，全国的政客们也一拥而上。当时任司法部部长的德怀特·格林（Dwight Green）宣布美国司法部将展开调查时，联邦指控的威胁已经让英萨尔不堪重负了。注

在库克县调查的过程中，斯旺森为了给他的连任竞选增加胜利的筹码，公布了一份他所掌握的以每股12美元的超低价格购买IUI公司股票的秘密名单。这份名单并没有什么特别之处，名单中的大多数人都是英萨尔的朋友，但是芝加哥市市长、民主党人安顿·塞马克（Anton Cermak）的名字也在其中。上面还有伊利诺伊州众议院议长、前副州长，以及几名州法院和联邦法院法官的名字。1932年10月，斯旺森凭借这份名单和媒体报道，成功地说服了大陪审团对英萨尔提出指控，罪名是“挪用公款、盗窃和对于受委托保管的财物实施盗窃”。注

1932年6月，英萨尔在被起诉之前悄悄地离开了巴黎，希望在被银行击垮后找一处安静的落脚之地。金融家们与英萨尔达成了一项养老金协议，答应每年付给他5万美元，直到他离世。听说英萨尔可能被起诉，他的儿子小塞缪尔恳求他离开巴黎，于是英萨尔又逃到了雅典，因为律师说美国没有与希腊签订引渡条约。英萨尔逃亡国外期间，32岁的小塞缪尔成为与伊利诺伊州政府和联邦政府进行斗争的主力军。在来自各方的愤怒和仇恨的冲击之下，小塞缪尔也受到了指控，罪名是邮件欺诈和违反破产法。注

正如英萨尔的律师所说的那样，希腊拒绝引渡英萨尔回美国。然而，为了说服希腊政府，美国政府对希腊裔美国商人协会施压。这些富裕的希腊裔商人常把大量的资金寄回他们的祖国，所以美国联邦政府威胁要阻止他们转移资金。1934年3月，面对美国的最后通牒，希腊

政府要求英萨尔离开他们的国家。美国国会两院都通过了一项法案，明确指出无论英萨尔进入哪个国家，该国都可以根据某项协议，对英萨尔实施逮捕。英萨尔租了一艘船，在地中海东部待了两周，但当船停靠土耳其港口补充供给时，土耳其政府逮捕了他，并将他移交美国大使馆。(注)

英萨尔被带回美国并关押在库克县监狱。他的律师、前伊利诺伊州最高法院法官弗洛伊德·汤普森（Floyd Thompson），准备好了10万美元的保释金，但在英萨尔真的被关进监狱之后，保释金又涨到了20万美元。英萨尔在回忆录中说，他的保释金是臭名昭著的黑帮分子阿尔·卡彭的5倍。英萨尔对媒体说："我犯了一些错误，但我最大的错误就是低估了金融恐慌对美国证券，特别是对我努力创建的那些公司的影响……我拼尽全力，希望可以拯救这些公司。我犯过错误，但都是一些诚实的错误，都是判断错误，而非不诚实的操作。"这番话不长，从中似乎可以看出英萨尔在接受审判时为自己辩护的重点。从一开始，英萨尔就辩解说他"因为一代人的罪过而遭遇迫害"，这意味着对他的审判将是"迫害"，而不是"起诉"。(注)

对一个时代的审判

1934年10月2日，联邦政府以邮件欺诈的罪名对英萨尔提起诉讼。欺诈指控的核心内容是，英萨尔和他的共同被告诱使买家以虚高价格购买Corp股票。根据联邦政府的说法，这一欺诈行为主要是通过一场全国性的销售活动进行的，Corp股票的价格被故意抬高。担任这次审判的书记员弗朗西斯·布希（Francis Busch）说，这项指控非常复杂，陪审团成员可能很难掌握具体细节。然而，可以肯定的是，陪审员们理解了其中的核心内容：联邦政府声称英萨尔欺骗了"升斗小民"。(注)

涉及英萨尔中西部公用事业公司的指控详细说明了导致这起丑闻的交易内幕。英萨尔对中西部公司的基本金融结构进行过重组，其中有两项内容与这起诉讼案有关。第一项内容是，中西部公司大量抛售股票，购买者是英萨尔、他的经纪人和他的公司，例如Corp。重要的是，这些股票的账面价值高于英萨尔等人的购买价格。例如，中西部公用事业公司的股票收购价格是1270万美元，但它的账面价值却是远高于这个数额的2300万美元，这是根据当时的股票市值计算出来的。政府把这种将1270万美元提高到2300万美元的记账方法称作“增记”；今天，这种做法被称为按市值计价，并得到广泛使用，有时还会引发某些问题（从安然事件中就可以看到这种做法）。英萨尔和他的共同被告一直在进行内部交易，而且增记股票价值的做法看起来非常可疑。政府认为，英萨尔等人高价出售Corp股票的做法是一种欺诈行为，因为公司资产的价值被过分夸大了，那些虚高的账面价值就是证据。注

第二项内容是，中西部公司将以股票而非现金的形式支付股息。联邦政府起诉书称，Corp公司把中西部公司的股票股息视为现金收入的做法是欺诈行为，因为在股票售出之前，股票股息不能被视为收入。如果这些股票股息不能记作收入，那么Corp公司不仅没有盈利，反而处于亏损状态。例如，联邦政府起诉书称，在1930年，如果将股票股息从收入中除去，同时将股票交易中的损失作为开支列出，Corp公司就损失了55万美元，而非账面上显示的赢利680万美元。也就是说，英萨尔等人在推销股票时宣称Corp是一家“资金充裕”的公司，这是一种欺诈行为，因为从技术上讲该公司蒙受了巨大损失。注

由于政府提供了充分的证据，75岁的英萨尔不得不出庭驳回对他的指控。在法庭上，英萨尔重点讲述了他诚实的一生。布希说，英萨尔通过介绍他初到美国时的往事，还有他是爱迪生最信任的顾问的身份，吸引住了法庭上所有的人。他讲述了他将芝加哥爱迪生公司由小做大的过程，以及他促进公司发展以降低电价的殷切希望。

英萨尔说，像赛勒斯·伊顿这样的投资银行家极具威胁性，有可能控制他辛辛苦苦建立起来，为芝加哥和伊利诺伊州的客户提供电力服务的那些运营公司。他解释说，建立英萨尔公用事业投资公司的目的就是为了对抗伊顿的威胁。

英萨尔接着说道，中西部电力公司重组的所有机制都是合理的，是业界普遍认可的会计惯例。(注)英萨尔承认自己公司的股价在大萧条时期下跌了，但蓝筹股的价格也普遍下跌了。与1929年相比，通用电气和通用汽车等公司的股票价值缩水了90%。这番话中为他自己辩解的意图十分明显。由于英萨尔死守着他的股票不放，到最后他变得一无所有，损失的财产包括他在库克县的房地产、妻子的嫁妆，还有一份人寿保险。(注)

英萨尔的律师在总结陈词时说，英萨尔没有任何欺诈行为，因为政府指控的欺诈行为都明明白白地记录在公司的账目上。律师辩称，这些行为的目的是试图将运营公司从伊顿的威胁中拯救出来，而不是谋求利润。英萨尔和其他人认为这些都是“良好的投资”。英萨尔的律师还说，联邦政府提起诉讼的唯一目的就是让某些人为这个“悲惨的时代”背黑锅。事实上，所有的钱都被“大萧条老人”拿走了。联邦法官威尔克森（Wilkerson）指示陪审团必须找到英萨尔欺诈的意图，不能因为诚实的错误而判英萨尔有罪。两个多小时后，陪审团裁定对英萨尔及其共同被告的所有指控均不成立。(注)

21世纪初，英萨尔一案的判决在安然公司诉讼案中引起了共鸣，但两案的判决结果形成了鲜明对比。

英萨尔留给世人的遗产

英萨尔回忆录的编辑说："英萨尔凭借一己之力，把为有钱人服务、处于实验状态的电力行业，变成了一个重要的、为所有人服务的公用事业。"从这个意义上讲，英萨尔让电力实现了平民化。为了实现这个目标，他始终不渝地追求规模经济和范围经济，大幅降低了电价。为了推动规模经济和范围经济的发展，他建议各州政府对地方垄断机构实施价格监管。由于利润受经济规模的影响，这种监管制度对扩大经济规模有非常明显的激励作用。注

只要以人人用得上也用得起电作为首要目标，同时让规模经济保持活力，英萨尔的战略就可以取得巨大成功。建议州政府实施价格监管不是出于笼统的考虑，而是实现特定目的的一种方式，而且它真的发挥了作用。同样值得注意的是，价格监管有一个众所周知的缺点：它使人甘于守成，而不愿意冒必要的风险去实现电力行业必需的科技进步。从这个意义上说，这种监管制度无异于杀鸡取卵。

英萨尔的职业生涯也具有鲜明的特色：作为一位高知名度的商界人物，他的崛起引人注目，他的没落又充满了屈辱。1892年，英萨尔从芝加哥爱迪生公司这个狭小的平台上起步，创造了美国最大的两个电力集团公司。根据一项统计，1930年，在美国所有的电力收益中，英萨尔控股公司占了12.3%的份额。此时，英萨尔集团的规模与通用电气的控股公司——美国电力债券股票公司下属的所有电力公司旗鼓相当。在英萨尔没落的1932年，美国民众持有的英萨尔公司的股票和债券（包括他的天然气公司的股票与债券）价值超过26亿美元。他的公司有60多万名股东和50多万名债券持有人，为美国32个州的5000个地区提供电力服务。注

没落之后，英萨尔失去了一切，持有他公司的股票和债券的美国民众又损失了多少呢？根据一项估计，他们的损失远低于根据当日的头条新闻或其后几十年里的夸张参考资料所揣测的数字；1932年，美国民众持有的26亿美元证券导致他们损失了6.38亿美元，约占他们在

英萨尔公司投资总额的24%。这些损失不是投资运营公司（英萨尔创建的核心公司）造成的，而是投资控股公司或者运输与铁路公司造成的。注

此外，陪审团在认真考虑对英萨尔的欺诈及其他不当行为的指控之后，裁定三项罪名均不成立。陪审团的最终任务是衡量塞缪尔·英萨尔的功过，显然，英萨尔有功有过。他的功劳是实现了电力平民化，过失则是账目不清、操纵控股公司。他被无罪释放的最重要原因是陪审团听从了法官的指示。法官要求，要判英萨尔有罪，就必须找到证据证明他有欺骗公众的意图。但是，没有人能证明英萨尔有这样的意图。

1938年，在被无罪释放的4年之后，英萨尔在巴黎地铁上死于心脏病发作，享年78岁。

第二次工业革命

技术企业家和风险投资家让美国人崇拜不已，因为他们发明、投资、制造的产品受到无数人和企业的认可。他们证明了世俗的成功需要靠聪明才智和勤奋工作，而不是从前人那里继承的财富和地位。电就是电力公司运用全新的技术生产的供世人使用的销售火爆的产品。1902—1922年的20年间，美国的发电量以每年超过12%的速度增长。衡量这项新产品是否成功的另一个指标是家用电率：1907年，只有8%的家庭使用电力服务；1920年，这个数字增长至35%；1948年，家用电率达到90%。同样令人印象深刻的是，每个家庭的用电量都在不断增加。1912年，美国人口普查报告显示，每个家庭的年均用电量是264千瓦时。1920年，每个家庭的年均用电量是339千瓦时，也就是说，大约增长了28%。1948年，每个家庭的年均用电量是1563千瓦时，几乎是1912

年的6倍。总而言之，在20世纪上半叶，电力成为所有家庭不可或缺的东西，每个家庭需要用电的地方也越来越多。注

居民用电价格的大幅下降推动了（至少是有利于）电力市场的扩大和居民用电量的不断增加。1902年，居民用电的平均价格是每千瓦时16.2美分。1920年，平均价格下降了一半多，为每千瓦时7.45美分。1948年，平均价格是每千瓦时3.01美分，比1902年下降了81%。正如英萨尔预测的那样，规模经济和范围经济使人们在用电时几乎没有经济压力。注

新兴的电力业务对美国经济产生了重大影响，历史学家称它推动了第二次工业革命。这个评价很贴切，因为电动机取代了蒸汽机，而蒸汽机是第一次工业革命的动力。与蒸汽机一样，电动机大幅提高了整个制造业的生产力，使整个生产过程发生了巨大的变化。这些新变化又大大地提高了美国工人和机器的生产力，让美国跻身世界强国之列。

---

1. Roosevelt,“Campaign Address on Progressive Government”
2. Roosevelt,“Campaign Address on Progressive Government.”
3. Samuel Insull,The Memoirs of Samuel Insull: An Autobiography,ed.Larry Plachno(Polo,IL: Transportation Trails,1992),10,16－18;Forrest McDonald,Insull(Chicago: University of Chicago Press,1962),14－15.
4. McDonald,Insull,20－21.
5. McDonald,Insull,21－22.
6. McDonald,Insull,26－27,37－38;Insull,The Memoirs of Samuel Insull,46.
7. McDonald,Insull,57,63.
8. Insull,The Memoirs of Samuel Insull,73;McDonald,Insull,96－98,103－5.
9. McDonald,Insull,67－68,103－5.

10. Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 76 – 77; McDonald, Insull, 58.

11. McDonald, Insull, 99 – 100; Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 78 – 79.

12. McDonald, Insull, 89.

13. McDonald, Insull, 73, 113; Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 89 – 90.

14. McDonald, Insull, 121.

15. Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 83.

16. McDonald, Insull, 141.

17. McDonald, Insull, 139 – 42. Assuming capacity cut from 437,000 kW to 270,000 kW.

18. McDonald, Insull, 148, 150 – 53.

19. McDonald, Insull, 158 – 61.

20. Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 119.

21. McDonald, Insull, 173.

22. McDonald, Insull, 173.

23. McDonald, Insull, 173 – 75.

24. McDonald, Insull, 177.

25. McDonald, Insull, 177.

26. McDonald, Insull, 179.

27. McDonald, Insull, 179.

28. McDonald, Insull, 182.

29. McDonald, Insull, 237.

30. McDonald, Insull, 278 – 83.

31. Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 195 – 201; McDonald, Insull, 294.

32. McDonald, Insull, 299.

33. McDonald, Insull, 299 – 301; Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 222.

34. Insull, The Memoirs of Samuel Insull, 151; McDonald, Insull, 263 – 65, 267.

35. McDonald, Insull, 308 – 12.

36. McDonald, Insull, 310 – 12.

37. Insull,The Memoirs of Samuel Insull,233;McDonald,Insull,308,312－13,315.

38. McDonald,Insull,316－17;Insull,The Memoirs of Samuel Insull,251,264.

39. McDonald,Insull,319;Insull,The Memoirs of Samuel Insull,268;"Samuel Insull Will Make Fight for Complete Vindication,"Ottawa Citizen,May 7,1934.

40. Francis X.Busch,Guilty or Not Guilty: An Account of the Trials of the Leo Frank Case,the D.C.Stephenson Case,the Samuel Insull Case,the Alger Hiss Case (New York:Bobbs-Merrill,1952),136－38.

41. Busch,Guilty or Not Guilty,143－44,146,150－52.

42. Busch,Guilty or Not Guilty,161－62.

43. Busch,Guilty or Not Guilty,173－74.

44. Busch,Guilty or Not Guilty,178－79.

45. Busch,Guilty or Not Guilty,186－88,190－92.

46. Insull,The Memoirs of Samuel Insull,cclxxxvi.

47. Norman S.Buchanan,"The Origin and Development of the Public Utility Holding Company,"The Journal of Political Economy 44,no.1 (1936): 52;Arthur R.Taylor,"Losses to the Public in the Insull Collapse: 1932－1946," Business History Review 36,no.2 (1962): 188－89.

48. Taylor,"Losses to the Public in the Insull Collapse," 188,194.

49. Historical Statistics of the United States,Colonial Times to 1970.U.S.Department of Commerce (1975): 821,827,accessed October 1,2016, <http://www2.census.gov/library/publications/1975/compendia/hist_stats_colonial-1970/hist_stats_colonial-1970p2-chS.pdf>.

50. Historical Statistics of the United States,Colonial Times to 1970,827.

第三部分　大规模时代

大政府和大发电厂

第8章　罗斯福的电力新政

我不赞成那些主张政府拥有或政府经营所有公用事业的观点。

——富兰克林·罗斯福（1932）注

1932年9月，美国民主党总统候选人、时任纽约州州长的富兰克林·罗斯福来到俄勒冈州的波特兰，就电力问题发表竞选演讲。最令人吃惊的是，罗斯福在演讲中坦承，他认为政府不应该接管电力行业。由于当时正值被许多人视为标志着资本主义惨遭失败的大萧条时期，大型公用事业控股公司又面临经济崩溃，在这种压力之下，将电力行业的所有权收归政府显然是一个颇具吸引力的选择。但罗斯福不为所动，而是制定并实施了三管齐下的电力新政：资助联邦大型（水力）发电项目，增强市政项目的竞争强度，取缔控股公司体系。注

当罗斯福提出为联邦水力发电项目提供资助时，他显然知道台下的听众来自何方。他告诉波特兰人民，“联邦政府要实施的下一个大型水力发电项目就位于西北部地区的哥伦比亚河上。”在大萧条发生之前的20世纪20年代，联邦政府搁浅过两个水电项目：胡佛水坝（罗斯福称为博尔德大坝）和田纳西河流域管理局。但在大萧条期间，这两个项目被重新启动。不过，随着邦纳维尔水电站和大古力水电站分别于1938年和1942年建成，罗斯福终于兑现了他对西北部地区的承诺。注

当罗斯福着手解决市政发展的问题时，他希望给投资者所有的公用事业公司增加一些潜在的竞争。罗斯福提及，他希望发展联邦水电项目可以为私营公用事业公司的服务费以及其他服务条款建立一个

“标准”。他还说，当“纯粹的训斥”不足以让私营公用事业公司改善服务或降低费率时，就可以使用市政公用事业公司这种潜在的惩戒手段。注

与此同时，随着《公用事业控股公司法》于1935年出台，取缔控股公司的行动轰轰烈烈地开始了。一位学者总结道：“除了战争时期，联邦政府从未对任何行业进行过如此全面的控制。”1935年，美国国会通过了一项配套法案，即《联邦电力法》（FPA）。当时，人们可能以为这部法案的重要性不及前者。然而，《联邦电力法》的目的是解决控股公司造成的另一个问题——洲际控股公司超出了州监管机构的管理范围。这项法案出台后，联邦电力委员会（FPC）将对州际输电和电力批发销售进行监管。罗斯福明白这将引发一个涉及各州权利的政治问题。注

今天，《联邦电力法》是联邦政府管理电力行业的主要依据。联邦监管是大萧条留给美国人的一份重要遗产，在它诞生之时，大多数美国人都希望联邦政府能够积极干预，以阻止美国历史上最严重的经济危机。然而，在危机中诞生的监管并不一定能满足人们的长期需要，在没有危机或者发生不同危机之时，这种监管体系可能并不适用。而且，如果国家监管变成一种标准化制度，美国各州就难以形成各种不同的想法，也难以创造各种不同的机会，从而使美国的重要力量源泉遭到破坏。

电力新政出台的背景

20世纪20年代的两项引人注目的研究，为罗斯福在20世纪30年代颁布电力新政提供了一个非常有意思的背景。据称，开展这两项研究的起因是第一次世界大战期间同时发生的电力供应短缺与煤炭价格飙升问题。正是因为这两项研究，英萨尔发出了建立规模经济的呼声，

指出扩大电厂规模将会降低电力成本（还会减少煤炭用量）。为了配合建立大规模发电站，还需要搭设长距离高压输电线路。

这两项研究就是“超级电力”（Super Power）研究和“巨头电力”（Giant Power）研究。从这两个名字就可以看出人们在那个时代的梦想到底是什么。对于大型发电厂和长距离输电线路应该由电力公司（超级电力）还是州政府（巨头电力）掌控这个问题，这两项研究给出了不同的建议。掌控者不同，电力行业的运营方式就会大不相同。如果由电力公司掌控，相应的计划就是所有的电力公司互联运营。但是，是否可以从邻近的电力公司购买电力，则由电力公司自行决定。另一种方案是把所有发电厂都整合到一起，由州政府统一运营。

超级电力研究和巨头电力研究都具有重要的历史意义，原因有二。第一，20世纪20年代，虽然英萨尔中西部公用事业公司等控股公司通过规模经济和联合运营，使电价不断降低，但是已经有人对大型公用事业公司掌控电力行业的前景表示担忧。1935年，取缔这些控股公司已经成为联邦政府的核心目标。第二，超级电力和巨头电力这两份报告被提交到联邦及州议会后，各自都没有取得任何进展。然而，在这两份报告的共同作用下，一个竞争性电力行业的模板正在缓慢形成。今天，从PJM互联电网（美国最大的电网运营商）这个适应竞争性市场的“黄金标准”中，就可以看到超级电力和巨头电力这两份报告的影子。

PJM是该互联电网所覆盖的地理区域（包括宾夕法尼亚、新泽西和马里兰）的英文首字母缩写。今天，其覆盖区域还在向西延伸，已经把芝加哥涵盖其中了。PJM是美国六大区域性电网运营商之一，被称为区域性输电组织（RTO）或独立系统运营商（ISO）。在其覆盖范围内，要确保所有电力供应商都能公平地接入该电网，而且，所有供应商都要保证电力销售价格的透明度，在此基础之上展开竞争。虽然竞

争方式比较新颖，但是这些区域电网运营商都与英萨尔的展望有直接关系，因为它们也是把那些分散的用户和供应商集中在一起，从而形成规模经济的。

超级电力研究

超级电力研究的资金申请是在1918年提交到美国国会的。最终，国会为这项旨在解决美国东北部和大西洋中部电力供应问题的研究提供了12.5万美元的资金支持，并成立了一个包括时任商务部部长赫伯特·胡佛在内的顾问委员会。(注)

超级电力研究报告的措辞比较温和，除了提及第一次世界大战期间美国差点儿遭遇极其严重的电力短缺危机以外，整个报告读起来平淡无奇，似乎很难赢得国会议员的支持。报告明确表示，超级电力并非有意与现有的电力公司竞争，其目的只是“协调这些电力公司，以及弥补它们的不足”。(注)

同任何时代的电力系统提案一样，超级电力研究报告也用大量枯燥的数据描述了1919年的电力系统现状，以及到1930年的前景展望。超级电力计划的覆盖“区域”始于缅因州，止于马里兰州，涉及25%的美国人口；计划取得减少发电厂数量、增加发电厂服务范围的效果。报告指出，公用事业公司拥有558座发电厂，平均规模仅为7.9兆瓦；如果执行超级电力计划，那么预计到1930年，该区域总共只需要273座发电厂，其中有218座属于现有的公用事业公司。基荷发电厂（这些发电厂需要不间断地运行）则将大幅增加规模，发电量从60兆瓦到300兆瓦不等。(注)

英萨尔早已经指出，扩大规模的好处是成本将大幅下降。据超级电力研究报告估计，到1930年，发电成本将下降46%，节省2.785亿美元。鉴于战时煤炭短缺充分证明了节能的重要性，超级电力计划承诺

将大幅减少用于发电的煤炭量。根据该提案，预计到1930年，每千瓦时的煤炭使用量将减少48%。㊟

巨头电力研究

与超级电力研究报告的温和措辞相比，巨头电力研究报告的语气则显得十分尖锐，时任宾夕法尼亚州州长、该计划的发起者之一吉福德·平肖（Gifford Pinchot）负责撰写的那些部分尤为明显。著名工程师莫里斯·库克（Morris Cooke）对这份报告的热心程度也毫不逊色。平肖说："巨头电力计划与超级电力计划完全不同，前者是温顺听话的大象，后者则是野性未泯的大象……公众坐在大象的脖子上，引导着它的行动，而不是让它无助地跪在地上。"接着，平肖进一步贬低了超级电力计划："超级电力计划的主要目标是为公司带来更多的利润，而巨头电力计划的主要目标是为民众谋取更大的利益。"㊟

平肖继续说道，电力行业是"自然垄断"行业；也就是说，它不能通过竞争来加以调节，而是必须"受到公众的控制"。但是，平肖并非倡导公有产权："巨头电力计划不考虑公有产权的可能性。"然而，他警告说，如果公用事业公司"反对并阻止各州和国家实施合理有效的监管"，就有可能演变成公有产权。㊟

巨头电力研究的实质性内容始于库克提出的一个建议。库克认为，为节省煤炭用量，应该只建造规模非常大的发电厂。为了证明大型发电厂有助于节约用煤，库克列出了一组估计数字。他说，一台1000马力的发电机每马力用煤量是4磅，而一台5万马力的发电机每马力用煤量不到1.5磅。库克呼吁，发电厂的规模应该不小于65万马力。相较于当时的情况，增长幅度还是非常大的。他还提出，这些发电厂要建在煤矿附近，即所谓的"坑口电厂"，省去铁路运输煤炭的成本。而且，这项措施可以节约煤炭，因为铁路运输煤炭也需要以煤炭

作为燃料。库克认为，如果让美国的所有铁路都实现电气化，就可以节约更多的煤。(注)

对于电力输送系统的改进，库克提议建立“干线”电力传输网络。这样一来，高压线将成为一种“常见载体”；也就是说，这些高压线路可以为任何发电厂所用，而不仅限于那些现有的电力公司（通常都拥有输电线路）的发电厂。然而，巨头电力计划并没有止步于互联运营，而是更进一步，提出要实现一体化。其目的是协调全美各地所有发电厂的运营，使每时每刻的发电成本都趋于最小化。这种做法被称为“经济调度”。在这种模式下，随着用电需求的增加，调度员会调查所有没有满负荷运转的发电厂，以找到下一个千瓦时成本最低的电机组。因为每次都选择千瓦时成本最低的电机组，由此确保将电力供应的总燃料成本降到最低。库克承诺，巨头电力计划提出的所有重要改进措施，必将“大幅降低公用事业费用”。(注)

平肖提议建立一个三方共管的监管体系。由巨头电力委员会为符合该计划预设条件的大型发电厂授予特许状，让它们与州委员会共享监管权。从这条建议可以看出，平肖与库克认为州委员会与控股公司的关系过于密切，因此不能将实施巨头电力计划的重任委托给它们。此外，联邦政府和各州的监管部门也要各司其职，只在涉及多个州且这些州无法就采取何种行动达成一致意见时，联邦政府才可以出面干预。

巨头电力计划和超级电力计划都是解除监管的前兆，也就是说，电力行业面临竞争性改革或结构重组。这些改革真正发生是在20世纪90年代，尽管时间跨度很大，但我们需要知道，发生于20世纪90年代的竞争性改革的大多数基本内容最早可以追溯至20世纪20年代。巨头电力计划和超级电力计划设想的区域互联运营已经实现。巨头电力计划预测，从“芝加哥到墨西哥湾沿岸，从大西洋沿岸到大平原地区”，整个区域将形成一个电网，由一名调度员实施经济调度。今

天，美国东部互联电网负责为密西西比河以东的大部分地区提供服务。PJM互联电网可追溯至20世纪20年代公用事业公司根据超级电力和巨头电力研究报告所采取的行动。1927年建立的宾夕法尼亚—新泽西互联电网（PNJ）就是PJM的前身。再次提醒大家，PJM现已成为通过整合、协调等手段适应竞争市场的黄金标准。[注]

电力新政的出台

1932年的竞选演讲

在波特兰演讲中，罗斯福明确表示电力问题非常重要。演讲一开始，罗斯福就说："长期以来，我一直有一个坚定的信念。在担任纽约州州长期间，我在演讲时、在文件中也反复强调了这个信念。现在，我更加坚定地认为，从根本上看，电力问题、电力发展与电力配送问题，是一个全国性问题。"演讲开头的这句话可能乍听上去会引起一些人对电力企业国有化的担忧，但在演讲结尾，罗斯福断然表示："我不赞成那些主张政府拥有或政府运营所有公用事业的观点。我明确告诉大家一个宽泛的通用规则，除极少数情况以外，公用事业的发展应该是私营公司和私人资本的职能。"[注]

罗斯福根本不相信塞缪尔·英萨尔等大型控股公司的管理者。他的原则是："在多数人的利益面前，少数人的利益就必须让步。"人们很快发现，他嘴里的"少数人"就是那些与控股公司有密切关系的人。他引用了美国联邦贸易委员会（FTC）的一项研究，并且明确指出这项研究揭示了"一种步步为营、内容微妙、处心积虑、不讲原则的歪曲宣传。如果大家不介意，我想毫不避讳地说他们满嘴谎言"。罗斯福用联邦贸易委员会的研究作为证据，证明电厂和电力销售的控制权越发集中到少数大公司手中，这种状况最后必然会导致国会通过立法取缔控股公司。[注]

罗斯福认为，尽管州公用事业委员会已开始实施价格监管，但大多数都监管不力。罗斯福认为，州委员会以“仲裁者”“裁判”自居，但它们应该扮演的角色是“公众代理人”，积极主动地追逐“到位的服务”和“合理的价格”。[注]

在接下来的演讲中，罗斯福谈到参议员乔治·诺里斯（George Norris）利用联邦贸易委员会的那项研究，揭露控股公司故意抬高公用事业费率的行为。这位参议员还抨击过胡佛，说后者想要阻止联邦贸易委员会的那项研究。对于在即将到来的总统选举中需要面对的对手胡佛，罗斯福也提出了批评。因为胡佛在1925年担任商务部部长时说过：“削弱州公用事业委员会的权力和限制各州应承担的责任，必然导致联邦政府集权这个最可怕的后果。”胡佛认为，“州际电力的输送范围可能被肆意夸大了”。与此形成鲜明对比的是，罗斯福认为，各州未能有效地监管那些控股公司。[注]

罗斯福的立场非常明确，他认为“电不再是一种奢侈品，而是必需品”。他指出，加拿大家庭的用电量是美国家庭的两倍，由此可以断定美国的电力事业“肯定比较落后”。罗斯福认为，电力行业“只关注一己私利”，以致“缺乏远见，不能以足够低的费率鼓励公众广泛用电”。接着，他把目光投向了“英萨尔的庞大组织”，“英萨尔的失败比其他任何事情都更能让美国公众看清真相”。不无讽刺的是，前文说过，正是英萨尔完成了“通过足够低的费率来鼓励美国公众广泛用电”这个目标。[注]

至于他提到的加拿大，该国的大型公用事业机构的确起步比较早，人均用电量也高于美国，但两国之间的差异可能并不是电力事业落后这个原因造成的。例如，1920年，加拿大有97%的电能来自水力发电，水力发电的成本通常比较低，而美国不具备这样的条件。另外，天气和工业用电方面的差异也可能是造成两国人均用电量差距较大的原因。值得注意的是，现在加拿大的人均用电量仍高于美国。

罗斯福呼吁推行“电力新政”，以理顺“电力公司与消费者、投资者之间的关系”，并列出了他认为必须采取的改革措施。比如，电力业务必须增加透明度，公用事业公司的财务信息、股东、签署的所有合同都必须“公开”。他呼吁由联邦电力委员会对控股公司实施监管，联邦电力委员会和州电力委员会之间开展合作。控股公司发行股票和债券也必须纳入监管范围，而消费者应该基于“审慎投资”的原则，缴付公用事业费用。此外，他还希望法律明文规定“发布或传播与公用事业公司有关的虚假或欺骗性消息的行为是犯罪行为”。[注]

罗斯福说，他不赞成政府担任所有者这个角色，但也有例外情况。如果某个城市的民众对服务或价格感到不满，那么市政府应该拥有就是否成立市政公用事业公司这个问题举行公民投票的自由。他认为，这一权利有助于帮当地居民建立服务和价格标准，用以评估其他公用事业公司的服务和价格。他还把这项权利比作橱柜里的“桦木条”，只在“孩子”屡教不改时才会拿出来用。[注]因此，“桦木条”是“孩子”（私营公用事业公司）不诚实时，市政府可以使用的最后手段。[注]

大型水力发电项目是他对政府是否应该掌握所有权感到犹豫不决的另一个例外情况，他指的是科罗拉多河上正在施工的那个项目（胡佛水坝）。在演讲中，他枚举了可以“防止公众遭到敲诈”的4个标杆工程，即“东北部地区的圣劳伦斯河工程，东南部地区的马斯尔肖尔斯工程，西南部地区的博尔德大坝工程，以及西北部地区的哥伦比亚河工程”。[注]

最后，罗斯福对听众们说：“请根据我眼中的敌人来评价我。”他口中的敌人指的是控股公司，在许多人眼中，这些公司是腐败和贪婪的代名词。[注]

当时，一篇报道称罗斯福在这次关于公用事业的演讲前后都受到了波特兰民众的热烈欢迎。无论罗斯福选择的演讲主题是什么，迎接他的都是云集的听众、震耳欲聋的欢呼声，这已是一种常态。罗斯福在俄亥俄州哥伦布市的演讲吸引了3万名美国人，主题是建议联邦政府加强对股票交易所和银行的监管。他在新泽西州西格特的演讲吸引了10万名听众，主题是废止禁酒令。在堪萨斯州托皮卡市的演讲中，他谈到了农业政策和关税改革，欢呼声不断。在1929年经济危机爆发之后，美国人已经做好了让联邦政府来控制局面和终结那场危机的准备。注

1935年的国情咨文演讲

1935年1月4日，成功当选美国总统的罗斯福在国会发表了国情咨文演讲。他说，“我们已经有了一种新的秩序”，尽管他明确表示这种新秩序是“在美国宪法的框架下和在美国宪法精神和意图的指引下”建立的。在阐述他提议变革的原因时，他说“奉行旧实践和旧理论的大师们”对全世界所面临的经济问题“毫无准备”，“复苏与改革”不应该有泾渭分明的鸿沟。就像治疗病人一样，我们不仅需要对症“治疗”，还需要“消除病因”。罗斯福列举了一系列重要项目，其中包括“取缔邪恶的控股公司以帮助公用事业领域恢复良好状况”。注

罗斯福的观点对吗？美国正处于前所未有的经济危机之中，联邦政府采取积极行动应该是合理的。但他认为是控股公司导致了大萧条，这个假设很有可能会招来质疑声。人们可能认为更接近事实的说法是，设立控股公司的做法加剧了大萧条的危害，高额债务和其他经营策略使这些公司在金融危机中尤其容易遭受重创。注

同年3月，罗斯福向国会提交了一份“国家电力政策委员会关于处理控股公司问题的报告”。他指出，委员会报告中的许多建议已经被

纳入了众议院和参议院通过的《公用事业控股公司法》。罗斯福直言不讳地表示，他反对旨在“让投资者认为政府保护投资者的努力其实是为了欺骗他们”的“宣传”。控股公司法案“不会破坏那些控股公司所掌控的营运资产的实际价值”。如果控股公司不能“向证券交易委员会证明，它们的存在对于私营公用事业公司履行服务公众这个应尽义务是必要的”，那么最好让它们“在5年之内消失”。他说，对于“财富集中、经济实力雄厚”的控股公司，监管“取得最终成功的可能性很小”。注

为了表明联邦政府干预行业是有先例可循的，该委员会报告援引了1933年通过的《州际贸易法》和《格拉斯—斯蒂格尔法案》（也称为《1933年银行法案》），指出电力行业的控股公司与这两部法律中涉及的铁路行业控股公司、银行业控股公司具有相似之处。接着，报告列举了控股公司的违规行为，以及必须采取的监管措施。所有这些都是罗斯福希望在法律中体现的内容，他的目的就是取缔控股公司。注

大政府的出现

联邦贸易委员会关于控股公司的报告

1935年6月，时任美国联邦贸易委员会主席的埃德温·戴维斯（Edwin Davis）向美国参议院提交了一份关于控股公司的简短报告。戴维斯提醒参议院，这份报告是根据参议院在7年前（也就是1928年2月）通过的一项要求起草的。报告的前几页描述了电力（以及天然气）公司快速增长的势头和日益提升的重要性。由于销售量迅速增长，与此同时成本与电价大幅下降，电力行业迎来了它的黄金时代。注

然而，从主题来看，这份联邦贸易委员会报告涉及的却是少数控股公司独揽控制权这个问题。显然，联邦贸易委员会认为这是急需解决的重要问题。1932年，三家企业集团占据了全美发电量44.5%的份额。三者之中，规模最大的是由摩根财团创立的联营公司集团。1932年，联营公司集团通过下属的5家控股公司占据了全美发电量19.8%的份额。位居第二的是通用电气创建的电力债券和股票公司，1932年，该公司通过下属的4家控股公司占据了全美发电量13.6%的份额。排在第三位的英萨尔集团通过7家控股公司（包括联邦爱迪生公司和中西部公用事业公司），占据了全美发电量11.1%的份额。另外，还有13家控股公司占据了全美发电量32%的份额。因此，前16家控股公司占据的份额超过76%。㊟

接下来，联邦贸易委员会开始调查控股公司的州际电能销售量。后来，在相当长的时间里，联邦政府一直依据州际电能销售量这个数据，不断加强对电力和天然气的监管力度。联邦贸易委员会发现，从马萨诸塞州的波士顿到佛罗里达州的坦帕，在这个跨越10个州的东部沿海地区，13家电力公司互联运营，形成了一根“几乎牢不可破的链条”。从芝加哥到密西西比，也有一根这样的链条。㊟

报告随后详细阐述了控股公司对州际电能销售的控制。值得注意的是，有98.5%的州际电力输送是由20家控股公司完成的。仅电力债券和股票公司一家就占据了21.9%的份额，英萨尔集团占了19.7%，联营公司集团占了28.3%。因此，前三家公司所占份额达到近70%。联邦贸易委员会的报告还说，1930年，控股公司的电力输送所涉及州的个数以及覆盖的地理范围都达到了令人震惊的程度。通用电气的电力债券和股票公司为美国的31个州输送电力，英萨尔的中西部公用事业公司则为29个州输送电力。㊟

尽管控股公司掌控州际电能销售的真相本身很有说服力，但根据电能销售份额对州际电能交易进行的追踪调查的结果却并不引人注

目。联邦贸易委员会的报告称，1930年，州际电能交易仅占公共和私人机构发电总量的14.4%。换句话说，控股公司虽然掌控了大部分州际电能销售业务，但它在整个电力市场中所占比例并不大。这个数据有很强的说服力，因为联邦政府大幅增强其监管职能，同时削弱州的监管职能，主要依据就是（电力和股票的）州际销售数据。注

1935年的《公用事业法》

1935年，出于对州际电能销售份额被控股公司所掌控等问题的担忧，美国国会通过了《公用事业法》。当时，美国参议院和众议院各自通过了一个版本（这种情况并不鲜见），因此，最终版本的法案是参众两院意见的综合体现。法案分为两个部分：第一部分是《公用事业控股公司法》，第二部分是《联邦电力法》。从此，积极的联邦监管开始了，其结果是铺天盖地的法律、法规、报告和各种各样的缩略词。美国国会称，基于若干原因，控股公司“关乎国家的公共利益”，为联邦政府的干预提供了法律依据。其中的主要原因是，它们销售证券的手段是邮件（这一事实也引发了对英萨尔的邮件欺诈指控）和“州际贸易”。此外，控股公司的“活动涉及多个州，致使各州不易对其实施有效监管，还导致各州对公用事业公司的监管难以实施，甚至无法实施”。注

美国联邦贸易委员会在向国会提交的报告中悉数了控股公司的利弊，以便让国会了解需要解决哪些问题。联邦贸易委员会认为，控股公司确实有助于推行有益的整合，一旦整合成功，就可以实现较低电价。控股公司的规模非常庞大，有助于小型运营公司获得低成本融资，但这也意味着控股公司可能会迫使小型公用事业公司接受某种不公平交易。运营公司还可以通过更优惠的价格购置新型设备，因为控股公司的规模更大，有丰富的采购经验。控股公司的内部专家可以持续不断地关注规模较小的运营公司，而外聘咨询人员的注意力则无法保证连续性。因此，控股公司下属的运营公司更容易获取技术和管理

方面的专业知识。然而，这些服务通常需要付出昂贵的代价。联邦贸易委员会发现，最大的控股公司电力债券和股票公司所收取的服务费用，在其总收入中的占比高达30%。[注]

联邦贸易委员会还指出了控股公司的其他弊端，比如高于实际成本的资产增记。在一次抽样审计中，联邦贸易委员会发现控股公司的平均资产增记率高达22%。增记导致消费者支付更高的公用事业服务费。此外，控股公司还会少报折旧费，以便少报开支、多报利润。联邦贸易委员会提供的这些详细证据，在指证控股公司的不当行为以及规定哪些行为应被禁止这两个方面发挥了作用。[注]

控股公司被取缔

法案被美国国会通过之后，就付诸实施了。这部法律覆盖范围广，而且执行效果非常好，以至于任何在20世纪70年代或之后进入电力行业的人都不知道《公用事业控股公司法》还引起过重大争议。大多数人也不知道，联邦政府借助这部法案，对美国最重要的一个行业实施了何其嚣张的干预，因为在20世纪70年代，控股公司要么彻底消失，要么被彻底监管。其中，《公用事业控股公司法》的第11条起到了至关重要的作用。它要求控股公司必须“实体互联”，而且“公司结构”必须“简化”。从三个历史时刻可以看出1935—1959年《公用事业控股公司法》的实施效果。[注]

1941年6月5日，当第二次世界大战正在欧洲肆虐之时，美国证券交易委员会（SEC）的主席爱德华·艾彻（Edward Eicher）在爱迪生电气协会的年度会议上发表讲话。他说，针对《公用事业控股公司法》的第11条，“控股公司的圈子里有所议论”。他认为这些议论“过于自由散漫，而且非常危险”，因此他准备予以驳斥。他还说，这些议论“意在制造恐慌，让人们担心第11条的执行会导致他们的资

产遭到扣押和拍卖”。他称所有这些议论都是谣言，并且宣布他将告诉人们一些事实。注

第一个事实是，美国证券交易委员会打算强制执行第11条。艾彻说：“这是毫无疑问的。”不过，他很快又补充道，法律绝不会规定以“不公平或不合理的价格”出售控股公司的资产，这是第二个事实。第三个事实是，证券交易委员会在销售时机的选择上进行灵活处理。艾彻接着说道，第四个事实是，对控股公司来说出售资产并不是“亏本买卖”，因为在金融界看来，许多控股公司分拆后的价值远远大于其现值。艾彻说，总而言之，控股公司不会“像遭遇爆炸那样瞬间化为乌有”。注

有人反驳道，美国人正在努力地应对战争，因此第11条应该缓行，但艾彻明确表示这是不可能的。他说，控股公司的“残骸”必须清理干净，运营公司只有彻底摆脱控股公司的束缚，“才能全速前进，满足国家的需要”。国家需要运营公司“全力生产”，以应对“全力制造战争的极权国家”的威胁。注他补充说：“如果我们遭遇（第一次世界大战中曾经遭遇的）电力短缺，美国就会面临生死存亡的考验。”注

将近10年后的1950年3月（此时战争已经结束），美国证券交易委员会的成员唐纳德·库克（Donald Cook）在纽约证券分析师协会发表演讲时表示，20世纪30年代，造成多家控股公司破产的罪魁祸首是“疯狂的金融”，而不是电力公司的基本业务状况。库克认为，《公用事业控股公司法》是“一项伟大且持久的新政”，而那些支持“积极金融政策”的人则反对它。他说，从几个指标可以看出《公用事业控股公司法》的实施取得了成功。例如，固定费用偿付比率（营运收入中可以用于偿还定期贷款和支付优先股股息的比例）从最低限额的1.9倍增加到2.7倍。这个比率越高，银行就越愿意向公用事业公司发放贷款。库克还说，最重要的是，1937—1948年发电能力提升了42%，

发电量增加了107%，这些都发生在《公用事业控股公司法》强制实施期间。注

由于《公用事业控股公司法》的实施提升了公用事业投资的稳定性和安全性，因此新的投资开始进入电力行业。库克称，具体而言，“储蓄银行、寿险公司和个人信托投入这一行业的资金不断增加”。这些成为电力行业发展所必需的资金来源。注

美国证券交易委员会的工作人员在1959年的一份报告中，记录了联邦政府根据第11条，疯狂取缔控股公司的大规模活动。这名工作人员发现，1938年6月15日—1959年6月30日，有2387家公司“因为注册身份为控股公司或控股公司的子公司而受到该法案的处理”。在那20年间，有2064家公司要么按照该法案的规定，被“解除”了监管关系，要么不复存在。其中，924家公司被出售；777家公司通过“解体、并购和合并”，被解除了监管关系；363家公司获得了《公用事业控股公司法》的豁免权。在323家未被解除监管关系的公司中，有176家是当时仍活跃的18家控股公司的子公司，其余的则是三家小型控股公司的下属公司。总而言之，《公用事业控股公司法》通过酌情处理所有控股公司，对电力行业进行了重组。注

《公用事业控股公司法》标志着政府在电力行业中扮演的角色发生了重大变化。政府的角色带有政治目的，它的重点是处理不良行为，因为它认为这些行为是大萧条的根源。与此同时，在大企业眼中，政府变成了关乎其存亡的因素。推行这些干预措施的是美国联邦政府，而不是各州政府。

《联邦电力法》

在《公用事业法》的两大部分中，人们可能认为《联邦电力法》的重要性弱一些。虽然在20世纪70年代，《公用事业控股公司法》的重要性已经被人们逐渐淡忘，2005年该法案被彻底废除，但在当时，它的重要程度确实比《联邦电力法》高，因为取缔控股公司是国会的首要目标。《联邦电力法》解决的是与之相关的问题，即跨州经营的控股公司超出了州的监管范围。法院判定州监管妨碍了州际贸易，这是美国宪法的商业条款不允许的。出于这个原因，该法案授权联邦电力委员会对州际贸易中的电力批发销售实施监管。

联邦电力委员会的职责与州政府的权力

联邦电力委员会在1935年提交给国会的年度报告中解释说，该委员会最初是依据1920年颁布的《联邦水电法》成立的，并被赋予监管水力发电的权力。1935年，《联邦水电法》被重新命名为“联邦电力法”，并成为《公用事业法》的第二部分。联邦电力委员会指出，该法案“极大地增加了（委员会的）职能和职责”。在描述联邦电力委员会的新职责时，报告称：“国会建立了监管控制机制，对超出宪法赋予各州的管控权限范围的电力公司州际经营活动实施监管；还建立了联邦协助机制，帮助州监管机构完成政府监管职责。”[注]

该委员会进一步解释说，它将拥有“对州际批发销售的电能的二次销售定价权”。这样一来，1935年的《联邦电力法》事实上就可以填补最高法院在裁决1927年公用事业委员会诉阿特尔伯勒公司案时的“空白”，即州际电能销售超出了州监管机构的权限范围。有趣的是，威斯汀豪斯和特斯拉为联邦监管奠定了技术基础，因为只有在应用交流电力系统的前提下，公用事业才可能实现“州际销售”。[注]

在阐明联邦电力委员会只是协助（而不会取代）州监管机构这个问题之后，报告接着强调该委员会的意图是与各州开展合作。报告援引一位委员的话说：“这项立法在州与国家通力合作的大道上树起了

一个新的里程碑，必将为我们指明方向，帮助解决我们这个二元政府体制迄今为止面临的一个最严重的问题。”国会在《联邦电力法》中特意说明它不会允许联邦政府干涉州的监管行为。《联邦电力法》指出：“联邦电力委员会对所有州际电力传输或电能销售设施都拥有管辖权，但……对发电设施、本地电力输送设施、州内电能销售设施、为电力传输器输送电能的设施均没有管辖权。”尽管这部法案明确表达了对各州监管权力的尊重，但是直至今天，州与联邦的管辖权之争仍然十分激烈。(注)

《联邦电力法》还明确规定了该委员会对电力公司的其他监管权。在联邦电力委员会的管辖范围内，电力设施的销售、租赁或者其他处置行为必须获得该委员会的批准，但它不得重复美国证券交易委员会对这些交易行为的监管。法案的其他条款为公用事业费率制定了重要的政策标准。例如，所有的公用事业费率都必须公正合理。直至今天，大多数联邦监管行为还都遵循这个标准。此外，联邦电力委员会不得“不适当地偏袒任何人或允许任何人不正当获利”。后来，这个表述被改为禁止“不当的歧视”。在今天的美国电力行业，联邦政府仍然会以此为依据，采取重要行动。(注)

法案实施的背景——大萧条和战争

《联邦电力法》被国会通过的5年后，联邦电力委员会在向国会提交的年度报告中，对联邦政府在监管美国电力行业中所扮演的新角色，进行了更详尽的背景介绍，并发表了一些看法。该委员会首先列举了一些数据，用以证明自1920年委员会建立到1940年的20年间，电能销售出现了巨大的增长。随后它解释说，1935—1940年的5年间，委员会依据《联邦电力法》，发挥了巨大的监管作用。(注)

报告还说，根据美国国会1938年通过的《天然气法》，该委员会在天然气行业中也发挥了巨大的作用：“委员会有权监管天然气的州

际贸易，为现有公司在市场区域内铺设新管道颁发临时许可证，在不会对现有市场造成不利影响的前提下指导扩张现有管道，以及对跨越国家边界线输送天然气的行为实施监管。”这种向天然气行业扩张的监管行为并非不务正业，时至今日，电力行业和天然气行业已经密不可分了。这是因为天然气是发电的重要燃料，还因为一个行业的监管惯例往往也适用于另一个行业。注

接下来，联邦电力委员会的报告进入另一个重要内容（它的重要性在今天更加引人关注），即监管可以取代竞争。具体来说，“在这个普遍认为已经适应‘自然垄断’的领域，对私营公用事业公司的监管在很大程度上取代了竞争”。“当一家公司的服务成本低于两家或更多家公司时”，就会形成自然垄断。持续的规模经济被视为平均成本持续下降，最终只有一家公用事业公司得以幸存的原因。几十年后，联邦电力委员会的接替者将提出撤销监管或开展竞争性改革的建议，因为这样的规模经济在电力行业的发电领域已不再占有优势。注

针对战争动员的需要，联邦电力委员会在1940年的报告中附上了一封罗斯福的信。罗斯福在信中要求联邦电力委员会与国家电力政策委员会、国防顾问委员会合作，及时掌握美国军方的所有电力需求，以及可以满足这些需求的电力供应、新建发电站所需设备的最新消息。6年后，《联邦电力法》记录显示，为了满足战时经济的需要，电力和天然气产量激增是不可避免的。因此，继大萧条时期政府根据需要完成了权力扩张之后，第二次世界大战又为新一轮的政府权力扩张创造了条件。注

电力新政的利与弊

联邦政府对电力行业的监管政策是在大萧条期间出台的，这也是人们第一次考虑由政府掌握发电厂和输电线路的所有权。然而，罗斯

福或任何有政治影响力的人都没有提出将电力行业收归政府所有，而是由政府对私营企业实施监管。

然而，大萧条时期出台的大政府监管政策没有受到任何制约。依据1935年颁布的《公用事业控股公司法》取缔控股公司的行动，对于美国的任何一个行业来说都算得上非常严重的干预行为。大政府把目光投向了大型控股公司（它们是美国民众的头号敌人），并把它们撕得粉碎。此外，这些新政填补了州监管的一个漏洞，由联邦政府对14%的跨州电力销售进行监管。联邦政府以此为起点，开始了对州际电力销售的监管。尽管当时在文字上对各州政府表示了尊重，但仍引发了一场联邦政府与州政府的权力之争，直至今天也没有平息。

监管政策实施之后，大政府与大企业之间就形成了一种尴尬、爱恨交织的关系，从塞缪尔·英萨尔的遭遇就可以清楚地看出来。英萨尔的大企业受人尊敬，因为它通过规模经济大幅降低了电价。然而，英萨尔本人却被视为导致金融与财务丑闻、股市崩溃的罪魁祸首。今天，因为环境有所缓和，这种爱恨交织的关系已经变得温和，但它仍然存在。例如，形成大型公司并承诺节省巨额资金的并购通常不会遭到拒绝，但对大公司滥用市场权力的指控仍然非常普遍。

罗斯福当选美国总统后，联邦政府在电力行业中扮演的角色发生了重大变化，也使人们在描述这个角色时面临新的变数。罗斯福创立了影响深远的联邦监管制度，它的主要对象是行业基本结构。他的行为带有政治目的，意在指控那些导致金融危机的不良行为，而不是电力供应不足或成本超支。罗斯福的监管政策是为应对大萧条而制定的，但是后来的第二次世界大战对它也起到了推波助澜的作用。因为大萧条和战争都是国家和国际危机，所以在当时的情况下美国政府采取的行动是合理的。在危机或战争时期，政府的积极干预是意料之中的事，但针对特殊而紧迫的情况所采取的行动，未必是长期的最佳政策。

一些业内人士认为，国家监管（联邦化）的真正危险在于它会导致标准化。美国是一个多样化大国，多样性是一个有利条件。未来是不确定的，不同的州对于如何降低风险有着不同的看法。就像多样化的股票投资组合一样，实行多样化的国家政策，从全局来看，可以保证所有的可选方案都有人尝试。多样性再加上创新性，最好的选择自然会浮出水面。多样性还允许根据当地的需要和机会量身定制行动，所以人们担心联邦化可能会削弱多样性。

然而，有人也许会说，即使是罗斯福在大萧条时期采取的两个最具象征意义的行动——修建胡佛水坝和成立田纳西河流域管理局——也反映了多样性的价值，尽管它们都是联邦政府项目。我们将在下一章中看到，胡佛水坝是利用当地的独特机遇完成的一个投资项目，它是西部诸州自下而上所达成协议的产物。田纳西河流域管理局则是国家资本主义的第一个实验，也是为这个独特的地区环境量身打造的产物。

---

1. Franklin D.Roosevelt.“Campaign Address in Portland,Oregon on Public Utilities and Development of Hydro-electric Power,”The American Presidency Project,September 21,1932,accessed July 20,2014, <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=88390>.

2. Roosevelt,“Campaign Address in Portland,Oregon on Public Utilities and Development of Hydro-electric Power”;William M.Emmons III, “Franklin D.Roosevelt,Electric Utilities,and the Power of Competition,”The Journal of Economic History 53,4 (1993): 880.

3. Roosevelt,“Hydro-electric Power.”

4. Roosevelt,“Hydro-electric Power.”

5. “The Regulation of Public-Utility Companies,”Securities and Exchange Commission,1995,1,19－20,accessed October 1,2016, <http://www.sec.gov/news/studies/puhc.txt>.

6. W.S.Murray,A Superpower System for the Region between Boston and Washington(Washington,DC: Government Printing Office,1921),9－10

7. Murray,A Superpower System,14.

8. Murray, A Superpower System, 13 – 14.

9. Murray, A Superpower System, tables 71 and 63.

10. Gifford Pinchot, “Introduction,” Annals of the American Academy of Political and Social Science 118 (1925): vii, ix.

11. Pinchot, “Introduction,” ix – x.

12. Morris Llewellyn Cooke, “Giant Power and Coal,” Annals of the American Academy of Political and Social Science 111 (1924): 213, 216 – 17; Thomas Park Hughes, “Technology and Public Policy: The Failure of Giant Power,” Institute of Electrical and Electronics Engineers 64, no. 9 (1976): 1363 – 64.

13. Cooke, “Giant Power and Coal,” 213; Hughes, “Technology and Public Policy,” 1365.

14. Pinchot, “Introduction,” ix – x.

15. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

16. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

17. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

18. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

19. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

20. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

21. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

22. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

23. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

24. Roosevelt, “Hydro-electric Power.”

25. Loretto Mersh, “The Presidential Campaign of 1932” (master’s thesis, Loyola University Chicago, 1937), 79 – 80, 84 – 85, 87.

26. Franklin D. Roosevelt, “Annual Message to Congress,” The American Presidency Project, January 4, 1935.

27. Ben S. Bernanke, “The Macroeconomics of the Great Depression: A Comparative Approach,” National Bureau of Economic Research, working paper no. 4813, August 1994, accessed October 1, 2016, <http://www.nber.org/papers/w4814>.

28. “A Report of the National Power Policy Committee with Respect to the Treatment of Holding Companies,” Document 137,(March 12,1935): 1–3.

29. “A Report of the National Power Policy Committee with Respect to the Treatment of Holding Companies,” 4.

30. “Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,” letter of transmittal,chapter two,Growth and Importance of Electric and Gas Industries.

31. “Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,” 38,table 12.

32. “Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,” 40.

33. “Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,” 43,table 13,44,56.

34. “Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,” 43.

35. Public Utility Holding Company Act of 1935: Hearings before the Committee on Interstate Commerce,9.

36. “Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,” 838,840–41,844.

37. “Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission,” 849.

38. Robert E.Healy,“Section 11 of the Public Utility Holding Company Act,” Securities and Exchange Commission,November 5,1941,3–5.

39. Edward C.Eicher,“Address,Annual Convention,Edison Electric Institute,Buffalo,New York,” Securities and Exchange Commission,June 5,1941,1–2,accessed October 1,2016, <https://www.sec.gov/news/speech/1941/060541eicher.pdf>.

40. Eicher,“Address,Annual Convention” 2,4,6.

41. Eicher,“Address,Annual Convention” 7.

42. Eicher,“Address,Annual Convention” 6–8.

43. Donald C.Cook,“Some Comments on the Current Utility Scene,New York Society of Security Analysts,New York City,New York,” Securities and

Exchange Commission, March 29, 1950, 1 - 2, 4, accessed October 1, 2016, <http://www.sec.gov/news/speech/speecharchive/1950speech.shtml>.

44. Cook, "Some Comments on the Current Utility Scene," 10.

45. "Twenty-Fifth Annual Report of the Securities and Exchange Commission Fiscal Year Ended June 30, 1959," Securities and Exchange Commission, January 6, 1960, page 123, accessed October 1, 2016, <https://www.sec.gov/about/annual_report/1959.pdf>.

46. "Fifteenth Annual Report of the Federal Power Commission," no. 332 (1935), 1.

47. "Fifteenth Annual Report of the Federal Power Commission," 1 on the Attleboro Gap, see, for example, Frank R. Lindh and Thomas W. Bone Jr., "State Jurisdiction over Distributed Generators," Energy Law Journal 34, no. 2 (2013): 499 - 539.

48. "Fifteenth Annual Report of the Federal Power Commission," 2; for original law and language, see "16 U.S. Code Chapter 12—Federal Regulation and Development of Power," Cornell University Law School, (hereafter FPA), accessed October 1, 2016, <https://www.law.cornell.edu/uscode/text/16/824>. For updated language and amendments, see FPA at page 37, accessed October 1, 2016, <http://legcounsel.house.gov/Comps/Federal%20 Power%20Act.pdf>.

49. "FPA," 42, 45.

50. "Twentieth Annual Report of the Federal Power Commission," no. 21 (1940), 1 - 2.

51. "Twentieth Annual Report of the Federal Power Commission," 9 - 10.

52. "Twentieth Annual Report of the Federal Power Commission," 13; Daniel F. Spulber, Regulation and Markets (Boston: MIT Press, 1989), 3 - 5.

53. "Twentieth Annual Report of the Federal Power Commission," 147 - 48; Twenty-Sixth Annual Report of the Federal Power Commission, no. 23 (1946): 1 - 2.

第9章　胡佛水坝的荣耀

今天上午，像所有第一次亲眼看见这个伟大壮举的人一样，我来了，我看到了，我被征服了！

——富兰克林·罗斯福（1935）注

胡佛水坝被称为“美国西部的大金字塔”。就像金字塔一样，耸立于荒漠之中的胡佛水坝是一座凝聚美国创造者的智慧和技能的纪念碑。正如胡佛水坝历史学家约瑟夫·史蒂文斯（Joseph Stevens）所言，在建造胡佛水坝的那个年代，“工程师和建筑师都富有浪漫气质，驯服狂野河流是一种英雄壮举，勤奋工作、供养家庭是一种了不起的荣耀”。注

胡佛水坝是大规模时代的完美物质象征。它位于拉斯韦加斯东南部，坐落在亚利桑那州与内华达州的分界线上，从任何意义上讲都是一个巨大的工程。1935年建成时，它成为世界上最高的水坝，高度为726英尺，比当时的世界第二高水坝——爱达荷州的阿罗罗克坝高一倍多。胡佛水坝的发电规模也很大，1938—1948年，它是世界上最大的水力发电站。最重要的是，胡佛水坝的成功经验表明，大政府是能够成功完成这种大工程，并产生诸如防洪、供水和大规模发电等巨大效益的唯一实体。私营部门的失败为这一观点提供了证据。多年来，私营部门一直在努力，希望至少实现前两项效益，结果它们不但失败了，还造成了历史上最严重的环境灾难之一。

大政府的这个大项目启动于一个无比恰当的时机。1931年，在大萧条愈演愈烈之际，经过几十年的政治妥协和工程设计，修建胡佛水

坝的准备工作已经就绪，随时可以动工了。三名共和党出身的总统——泰迪·罗斯福、卡尔文·柯立芝和赫伯特·胡佛，为胡佛水坝的修建做出过突出贡献，但富兰克林·罗斯福宣称胡佛水坝是他的新政的一个象征。1935年9月30日，随着下一届总统竞选的临近，罗斯福前往胡佛水坝，为它的建成题词。注历史学家迈克尔·希尔兹克（Michael Hiltzik）写道："他打算把共和党人构思并着手修建的胡佛水坝据为己有，变成新政——他领导的民主党政府的经济复苏计划——取得成功的具体象征。"注

胡佛水坝的建造背景和过程的确吸引人，但这本书详细介绍这些历史事实却是出于一个更深层次的原因：胡佛水坝的建成，提出并解决了至今仍需面对的电力技术如何选择的问题。它展示了当时的文化对技术选择的推动作用（现在这种推动作用仍然存在）；它还解决了联邦政府和州政府争夺控制权所引发的意识形态争论，提出双方可以同时参与，但必须以确保项目成功为前提。然而，今天的联邦法院有时还会忘记这种和平共处、相互合作的原则。胡佛水坝是由联邦政府建造的，但在设计时也考虑了当地的电力生产、供水和防洪设施的具体情况。它解决了政府与私营企业之间的争论，按照最有利于项目的原则分配责任。它还使用了一些有效的工具，如签订按绩效付酬的合同，为私营企业提供恰当的激励，而40年后的美国人必须重新学习，才能找回这些方法。也许正因为它的激励措施得当，胡佛水坝成为美国第一个按时投入运行而且没有超出预算的项目，这与近年来各种"首开先河"的项目形成了鲜明对比。

胡佛水坝也符合富兰克林·罗斯福三管齐下的电力计划，大型水电项目就是他的第三招。在它的帮助下，美国电力行业成功完成了自己的使命：挺进西部，覆盖美国。

驯服科罗拉多河的梦想

胡佛水坝经历了许多失败，才取得最终的成功。1853年，地质学家威廉·布雷克（William Blake）撰文探讨了利用科罗拉多河水进行灌溉的可能性。当时，布雷克是皮尔斯政府的一个勘探队的成员，受命在美国南部寻找一条修建州际铁路的路线。然而，他最引人注目的发现是在南加州找到了一个面积庞大的干涸古海床。他说，如果有水源，那里的土壤可以生长任何东西，而100多英里外的科罗拉多河就可以成为它的水源。第二个追求这一梦想的人是奥利弗·沃曾克拉夫特（Oliver Wozencraft），一位来自俄亥俄州的医生。1859年，沃曾克拉夫特成功地从加州议会申请到1000万英亩的土地，但他还必须得到国会的批准。1887年，沃曾克拉夫特最后一次前往国会，结果他一心期盼获批的议案在众议院再次遭到否决。投票结束后，沃曾克拉夫特回到他租住的房子，几天后就去世了。他的财富，还有他的健康，都随着他梦想的破灭而付诸东流了。注

随后站出来的是查尔斯·洛克伍德（Charles Rockwood）。1909年，洛克伍德出版《出生于沙漠》（*Born of the Desert*）一书，讲述了他的希望与失望交织的跌宕起伏的往事。和其他人一样，洛克伍德也希望利用科罗拉多河水，在加州上演“沙漠变绿洲”的奇迹。正如史蒂文斯所言，在洛克伍德成功地吸引了一名投资者后不久，“那些邪恶的名字，诸如科罗拉多沙漠、索尔顿海槽，被大气的名字‘帝王谷’所取代”。洛克伍德的想法是，定居者可以用非常低的价格购买土地，但是他们还需要购买灌溉用水，才能让那片土地创造价值。1901年，第一批拓荒者来到帝王谷，科罗拉多河水也第一次经由墨西哥运河流入这片土地。尽管困难重重，但是到1904年，帝王谷的人口约为7000人；到1905年，这片土地出产的乳制品和农作物，包括大麦、苜蓿和牛饲料，总价值超过200万美元。注

不幸的是，洛克伍德的加州发展公司建立在一个不稳定的财务基础之上。帝王谷的土地被联邦政府出售给了那些拓荒者，而不归洛克伍德公司所有，所以公司没有办法利用土地赚钱。公司所拥有的仅仅

是运河和河水，但不幸的是，科罗拉多河的淤泥太多了，当地人开玩笑说“太稠了，无法饮用；太稀了，无法耕种”。淤泥堵塞了运河，以致河水涌向帝王谷。解决这个问题的最好办法就是不停地疏通河道，但洛克伍德公司对此无力为之。于是，它们采取了一个补救办法，即将河流改道，由原先在墨西哥境内派勒特山区的河道向南迁移。由于资金短缺，洛克伍德新开辟的这条河道并没有多远。后来，在河道终点处还形成了后人口中的“灾难岛”。注

1905年，由于连降暴雨，科罗拉多河泛滥，导致这片土地发生了彻底的变化。洛克伍德无法控制河流的走向，也无法控制河水。结果，河水涌进了索尔顿海槽，也就是布雷克发现的那个已经干涸了400年的古海床。洛克伍德无意中把干涸的索尔顿海槽变成了深60英尺、占地150平方英里的索尔顿海。在意识到他造成了一场环境灾难之后，不知所措的洛克伍德找到了爱德华·哈里曼（Edward Harriman）。哈里曼是一位有权势的人物，创建了南太平洋铁路公司，当时正在从事帝王谷的产品外运生意。哈里曼只考虑到水田的价值，而没有意识到环境危机，因此他同意以20万美元的贷款换取51%的股份，以获得洛克伍德公司的控股权。在这场谈判之后，哈里曼稀里糊涂地承担了环境灾难的全部责任，并成为罗斯福发泄怒火的对象。当哈里曼的首席工程师之一伊普斯·伦道夫（Epes Randolph）去到现场时，他才认识到这场灾难涉及的范围有多大。后来，南太平洋公司花费了18个月的时间和300多万美元，才最终解决了这个问题。注

洛克伍德犯下的错误形成了加州面积最大的湖，还为修建胡佛水坝创造了所有必备的条件。无论控制权在私营企业还是在政府手中，沙漠变绿洲的梦想都是一样的。私营企业曾经得到了机会，但是它们没有成功。罗斯福愿意继续追寻这个梦想，但他明确表示将由联邦政府负责制订治理科罗拉多河的综合计划，水电站是该计划的重要组成部分。本杰明·富兰克林在研究狂暴自然力——闪电时发现的科学，将被用来驯服自然界中的另一个力量——汹涌奔腾的科罗拉多河。

签订州际协议

1920年，共和党人菲利普·斯温（Philip Swing）当选加利福尼亚州的国会议员。他试图为一笔3000万美元的贷款寻找担保，以支付修建一条全美大运河的费用。大约在同一时间，垦务局局长亚瑟·戴维斯（Arthur Davis）四处奔走，希望国会批准一个针对科罗拉多河的综合防洪计划的调研项目。戴维斯安排地质学家寻找适合建筑高坝的地点，从高坝这个名字就可以看出它适合发电。地质学家们给出了5个备选地点，其中三个在博尔德峡谷，两个在布莱克峡谷。这5个地点都在科罗拉多河上，位于内华达州和亚利桑那州交界处。注

1922年，戴维斯向国会提交了他的报告（国会称为“瀑布—戴维斯”报告）。该报告提出了集防洪、蓄水于一体的博尔德峡谷项目，并且断言电能销售应该可以提供项目所需的资金。此外，报告还建议建设一条不超出美国国境的运河。垦务局经过调查，最终认定布莱克峡谷的两个地点优于博尔德峡谷的三个地点，而且胡佛水坝也确实位于布莱克峡谷，但奇怪的是，这项工程却被称为博尔德峡谷项目。

科罗拉多河支流水资源的分配协议是胡佛水坝的基本政治基础。美国第29位总统沃伦·哈定任命时任商务部部长的赫伯特·胡佛为科罗拉多河委员会主席，为胡佛水坝的命名埋下了伏笔。委员会的成员包括来自7个州的重量级政治人物。这7个州中有4个“上盆地”州，即科罗拉多州、犹他州、怀俄明州和新墨西哥州；还有3个“下盆地”州，即内华达州、亚利桑那州和加利福尼亚州。委员会的目标是达成一项州际协议，将科罗拉多河的河水公平地分配给这7个州。只要得到国会批准，美国宪法就允许州际协议的存在，但是这种协议此前从未涉及两个以上的州。注

起初，在如何分配这项公共资源的问题上，7个州之间的分歧比较大。最高法院的裁决似乎更有利于下盆地三州，于是其余四州纷纷施

加压力，要求制订折中方案。此外，如果成功申请到联邦资金，联邦政府有可能会强制通过分配方案。根据达成的第一个重要妥协方案，河水使用权先由上盆地和下盆地均分，再分别在上盆地诸州和下盆地诸州之间分配。最后，7个州的代表于1922年签署了《科罗拉多河协议》。艰难谈判之后的代表签字只是协议签订程序的第一个环节，因为这项协议还必须得到7个州的立法机构和美国国会的批准。(注)

议案审批通过

在提交州议会审批这个环节，有5个州相对轻松，而加利福尼亚州和亚利桑那州则历经了重重困难。在胡佛的大力游说之下，加州议会终于批准了这项协议。但是亚利桑那州议会的几名议员被一个竞争项目打动了，因此带头反对这项协议。

斯温与同样来自加利福尼亚州、有巨大影响力的参议员海勒姆·约翰逊（Hiram Johnson）联手，向国会提交了斯温—约翰逊议案，建议国会同意拨款在博尔德峡谷及全美大运河的邻近区域修建一座高坝。历史学家迈克尔·希尔兹克指出，有两个因素对斯温—约翰逊议案的获批有利。第一个有利因素是1927年的中西部洪水，它导致密西西比河沿岸246人丧生。当时，国会正准备对1928年的《洪水控制法》投票。斯温明确表示，他的选民同样面临着狂暴的科罗拉多河带来的风险。第二个有利因素是一份报告，从中可以看出私营电力公司正在全面反对市政电力。希尔兹克说：“据称，这些电力公司每年共花费100万美元来反对公共电力，还专门投入40万美元来破坏博尔德峡谷议案。”(注)

但是，另一个悲剧性的事件对议案的审批产生了负面影响。1928年，在斯温—约翰逊议案审批的关键时刻，圣弗朗西斯大坝决堤，造成南加州400多人死亡。洛杉矶水资源部负责人威廉·墨尔霍兰德

（William Mulholland）为此承担了责任,很多人都认为他确实负有很大责任，但他没有遭到任何指控。此前，墨尔霍兰德从工程技术角度对博尔德峡谷工程的选址和设计均表示认可，众议院的议员们也采信了他的观点。在圣弗朗西斯大坝决堤导致墨尔霍兰德声名狼藉之后，他的政治支持者们的判断也受到了质疑。为了消除影响，同时出于未雨绸缪的考虑，斯温—约翰逊议案又追加了一个条件——安排“蓝丝带”专家小组对工程设计进行审查。此外，为了赢得加州议会的支持，议案还补充了一些条款，规定加州将获得下盆地三州水资源分配总量的58%，在亚利桑那州和内华达州的用水需求增加之前，加州还可以使用分配给这两个州的水资源。1928年5月，众议院通过了斯温—约翰逊议案。随后，参议院以64票对11票也通过了该议案。1928年12月21日，柯立芝总统签署了这项议案。注

为了确定胡佛水坝的电力分配方案，内政部部长雷伊·威尔伯（Ray Wilbur）提出了一种竞争性的报价机制——招标。但是，与报价相比，胡佛水坝可以出售的电能远不能满足需要。事实上，仅南加州爱迪生公司（一家私营公用事业公司）和洛杉矶市这两个买家就分别可以“吃掉”水坝出售的全部电能。这个项目有一个雄心勃勃的成本回收计划，所以关键在于尽可能扩大销量。电能销售的收益必须足以偿付联邦政府的投资，以及所有开支和50年的利息。注

六大公司成功中标

赫伯特·胡佛总统看到美国迫切需要增加公共建设的投资，因此推动了胡佛水坝项目。1930年，由于大萧条产生了灾难性影响，胡佛需要找到“万事俱备，只欠东风”的公共建设项目，胡佛水坝是为数不多的已经准备就绪的巨型工程项目之一。考虑到联邦建筑的总预算通常为每年1.5亿美元，预算成本为1.65亿美元的胡佛水坝的确是一个

大型投资项目。联邦政府当时的规模比现在小得多，1930年的支出仅相当于国内生产总值的3.4%，而2015年的这个比例是20.7%。注

接下来，垦务局开始邀请私营公司竞标胡佛水坝这个美国历史上首屈一指的大型工程，中标者必须缴纳500万美元的履约保证金（在任何时候，花这么多钱都需要慎重，更何况在大萧条时期）。双方议定“由政府提供工程需要的所有材料，如水泥和钢材，由承包商提供所有的机械、工具、车辆和施工所需物资”，中标者还需承担按绩效付酬条款中因延期而遭受惩罚的风险。例如，如果4个引水隧道在1933年10月前未完工，就会被处以每天3000美元的罚款；如果到1936年8月，水坝还没有达到目标发电量，就会受到进一步惩罚。注

符合要求的竞标方共有三家，最终的胜出者是一个自称为“六大公司”的企业联合体。令人难以置信的是，六大公司提前两年时间就完成了胡佛水坝的建设。联合体中各公司的领导者都为工程做出了重要贡献，他们大多是白手起家，通过在美国西部成功地完成某些大型项目，建立了自己的公司。总部位于犹他州奥格登市的犹他州建筑公司，是由沃迪斯兄弟创建的。随着业务的发展，它与哈利·莫里森（Harry Morrison）领导的莫里森—克努森公司建立了合作关系。毋庸置疑，在胡佛水坝的竞标上，莫里森—克努森公司最令人满意之处就在于，它的团队中有美国最杰出的水坝工程师弗兰克·克劳（Frank Crowe）。注

莫里森联系了俄勒冈州波特兰市的谢伊公司，它是美国西海岸最大的污水隧道建筑公司，谢伊（Shea）建议把波特兰的太平洋桥梁公司也吸纳到团队中。莫里森随后去了旧金山，成功地说服了另一家成功的建筑公司——麦克唐纳—卡恩公司。接下来加入团队的是亨利·凯泽（Henry Kaiser）和他的位于加利福尼亚州奥克兰市的凯泽筑路公司，是在旧金山颇有影响力的承包商沃伦·柏克德（Warren

Bechtel）把这个巨大的商机送到了凯泽面前。凯泽和柏克德加入之后，带来了六大公司中唯一的一家东部公司——沃伦兄弟公司。(注)

竞标时，六大公司在克劳的成本估算的基础上，加上了约25%的利润，报出了4890万美元的价格。最后，六大公司轻松胜出。研究胡佛水坝的历史学家史蒂文斯描述了媒体涌进威廉·沃迪斯（William Wattis）病房的情景。当时，他因为身患癌症，正在圣弗朗西斯医院住院治疗。在妻子的帮助下，他穿着睡袍，神清气爽地坐在那里抽着雪茄。作为犹他州建筑公司的领导者之一，这场胜利让他心情舒畅，他打趣说："这不过是一个大坝，但是，这个大坝真不是一般的大！"(注)

不怕挑战，积极创新

开工后，项目组遇到了一系列新挑战。把工人送进工地，以及物资、电力进出场地，都不是一件容易的事。为了解决这些问题，在克劳到达现场之前，基础设施的三个主要部分已经开始建设了，包括联合太平洋公司铺设的铁路支线，南加州爱迪生公司架设的从加利福尼亚维托维尔到博尔德市的全长200英里的90千伏电力输送线路，以及从博尔德市到工地的公路和铁路建设。(注)

在圣弗朗西斯大坝决堤的惨剧发生后，"蓝丝带"专家小组建议采用更严格的标准，其中一项就是必须降低大坝承受的最大压力。最后，垦务局回避了这一标准。然而，在许多其他的技术设计决策上，垦务局都表现出很强的条理性和精确性。胡佛水坝的许多决策都是专家们依据科学与工程技术原理做出的。垦务局还就某几项内容进行了大量的实际研究，其中最引人注目的是水坝使用的混凝土和水坝的形状。1931—1933年，该局为验证94个不同配方的效果，检验了多达15000个混凝土样本。当发现重大的设计问题时，该局就会充分调动全

体人员的智慧，寻求有效的解决方案。一位瑞典工程师认为，“拱坝”更稳定，对厚度的要求更低，能减少混凝土用量，从而更好地节约成本。垦务局认真地考虑了这位专家的建议，通过与南加州爱迪生公司合作，垦务局在加州圣华金河上建造了史蒂文森溪试验拱坝。实验结果表明，拱坝可以大幅减少混凝土的用量，而且不会导致安全问题。但是，垦务局最终并没有采用拱坝设计，一个重要的原因是圣弗朗西斯大坝也是一座拱坝，它的失败让人们记忆犹新。[注]

克劳必须在1933年10月前建成大坝的4条引水隧道，这让他面临很大的压力，但是，实践创新帮助他在最后期限到来之前完成了任务。效果最好的一个创新叫作“威廉脚手架”，这种脚手架被安装在卡车上，还带有钻孔设备，移动起来非常方便。在引爆炸药前，可以很快地把它拉走，爆破完成后又可以迅速地把它拉回隧道，继续钻孔。[注]

胡佛水坝反映了美国的科学实力和工程实力。在一个工程技术不断取得伟大成就的时代，这座水坝的成功设计和建造无疑是工程技术的又一个伟大胜利。[注]

不畏艰险，辛勤工作

大萧条导致美国人民陷入失业困境。胡佛水坝尚未动工时，成百上千的工人就携家带口来到内华达沙漠，搭起帐篷，排在求职队伍的前列。他们在炙热的土地上搭建的临时居住区，被后人称作“破烂镇”。水坝开始施工后，工人们住在博尔德市，但是那里的条件比破烂镇也好不到哪里去。住房常常是“半成品”，没有水暖设施，讽刺的是，还不通电。各种规章制度制定得非常严格，禁止赌博、饮酒和跳舞。当然，这些“堕落行为”在博尔德市外十分普遍，在拉斯韦加斯更是随处可见。[注]

便利设施极其匮乏。居民们敦促联邦政府和六大公司建一所学校，1932年博尔德市立学校竣工。尽管这所学校位于联邦政府的土地上，因此得不到州政府的资助，但拉斯韦加斯教育委员会还是给予了一些指导。水坝动工一年后，这里还建了一家医院，但只有建筑工人能得到救治，他们的家人只能“自生自灭”。尽管如此，工人们还是迫切地希望可以在胡佛水坝工地找到一份工作，因为这里的平均年薪是1825美元。根据垦务局的数据，这意味着水坝建筑工人的平均工资高于钢铁工人（年均收入423美元）、煤矿工人（年均收入723美元）和政府工作人员（年均收入1284美元）。[注]

尽管就那个时代而言，工人们的工资比较优厚，但他们的体力也被用到了极限。大多数人每周工作7天，每天工作8个小时，只在每年的7月4日和圣诞节，可以根据个人意愿享受两天无薪假期。他们的生活条件十分艰苦，天气和工作条件又极其恶劣。不过，胡佛水坝的建筑工人都是真正的无名英雄，他们每天通常从凌晨4点工作到中午，或者从下午4点工作到午夜，这是因为中午气温太高，容易中暑。有人回忆说：“天气太热了，我们常常裹上浸湿的床单，争取睡一会儿。”白天休息的夜班工人不得不忍受宿舍里热得令人窒息的高温。沙漠热是造成胡佛水坝工人死亡的首要原因，仅在1931年，由于气温高达120华氏度（48.9摄氏度），16人因此死亡。一名工人回忆说，在一个月内，夜间气温从未低于100华氏度（37.8摄氏度），最高时达到138华氏度（58.9摄氏度）。在夏季的几个月里，每天送10~12个人去医院很正常。这些人“没有意识，大小便失禁”，体温高达112华氏度（44.4摄氏度）。遗憾的是，他们只有约50%的生还机会。后来，医生逐渐有了经验，对体温过高的病人安排冰浴和静脉输液，降低了死亡率。[注]

工人们不仅需要面对酷热，还要面对危险的工作条件。工伤、塌方、溺水、爆破事故、车祸、峡谷坍塌、触电、意外跌落等，随时让这些工人面临死亡的威胁。奇怪的是，从统计数据看，肺炎也是导致胡佛水坝的建筑工人死亡的主要原因之一。出现这个现象的原因可能

是医院的误诊，从医院有记录的肺炎死亡病例来看，真正的致死原因可能是一氧化碳中毒。机器在通风不畅的隧道或其他狭窄空间中运转时，可能会产生大量的一氧化碳。危险性最高的工作是那些“攀岩人”，他们大多是勇敢的印第安人，缘绳而下，利用44磅重的手持风钻和炸药，除去峡谷岩壁上松动的岩石。这项工作非常危险，为此他们在布帽子上涂上一层沥青，制成特殊的安全帽。事实证明，这种简易安全帽的效果不错，攀岩人被坠物击中后，大多是下颌受伤，颅骨骨折或死亡的比例大幅降低。(注)

工人们不畏艰险、辛勤工作，这是胡佛水坝工程胜利完工的根本保证。

追加资金，进度加速

克劳快速高效的工作为他赢得了“急急忙忙的克劳”这个绰号，也带来了另一个挑战。由于工人数量远超垦务局的预期，当年的预算拨款很快就消耗殆尽。在大萧条时期，请求国会追加资金，难度极大。事实上，联邦政府已经决定平衡其总体预算，并计划削减1932年的资金。于是，克劳加快了施工速度，因为他知道，一旦春季洪水来临，他根本没有办法应对。如果不能在洪水来临之前竣工，已经完成的那部分就会被冲走。(注)

垦务局局长埃尔伍德·米德（Elwood Mead）向国会做证说，他需要立即拿到700万美元的资金，否则工程将难以为继。遗憾的是，米德的证词难以令人信服，甚至弊大于利。关键时刻，六大公司的亨利·凯泽挺身而出，以保证就业机会作为核心论点，说服了国会。凯泽说，如果国会拒绝提供这笔700万美元的资金，就会造成巨大损失：“它将扼杀政府（继续）雇用3000名就业者的可能性……它将扼杀政府只需拨付600万美元或者再多一点儿的资金，就可以让工程提前一年

竣工并从中获利的可能性；它将扼杀政府帮助帝王谷中成千上万居民的生命财产提前一年摆脱洪水危害的可能性”。凯泽接着说，如果国会关停胡佛水坝工程，“就相当于抛弃大约7000名美国公民，让他们在那片沙漠上孤立无援”。[注]凯泽做证后不久，国会不仅没有削减胡佛水坝的预算，还追加了更多资金。[注]

尽管胡佛创造了就业机会，但在1932年的总统竞选中，富兰克林·罗斯福仍然批评他“在公共工程上过于浪费”。罗斯福在竞选中彻底打败胡佛，赢得了42个州的支持，而支持胡佛的只有6个州。即使在博尔德市，罗斯福也以1620票对454票，轻松地击败了胡佛。罗斯福当选总统后，六大公司没再得到任何优待。哈罗德·伊克斯（Harold Ickes）就任内政部部长之后，就下令将胡佛水坝命名为“博尔德大坝”，以彻底消除将水坝归功于胡佛的可能性。然后，他又瞄准了水泥卡特尔。有10家供应商暗中勾结，达成了价格同盟，水泥价格比几个月前提高了20%。伊克斯通过谈判，让水泥价格下降了10%。接下来，他结束了六大公司用代币支付工人工资的做法，因为这些代币迫使工人们在购买必需品时只能选择公司自己的商店，剥夺了其他独立商店公平竞争的机会。最后，伊克斯提倡雇用黑人工人，以消除种族歧视。[注]

尽管如此，六大公司对待工人的手段仍然非常强硬。例如，有一个一氧化碳中毒的诊断就曾引起争论，并一直持续到1935年，也就是罗斯福总统发表竣工演讲的那一年。为了逃避伤害索赔，六大公司的专家做证时说：“一氧化碳中毒者‘要么死亡，要么痊愈’。”根据“要么死亡，要么痊愈”的标准，被告人出现在法庭上，这表明他们的伤害索赔要求是没有道理的。在工人们的不懈努力下，水坝逐渐成形，而人力成本也在不断增加。[注]

伟大工程的竣工

1935年9月30日，罗斯福总统发表了胡佛水坝竣工演讲。他迫不及待地宣布水坝是他的新政取得的一次成功，尽管在这个项目从无到有的30年历程中，还有其他三位美国总统也做出了贡献。他希望通过像胡佛水坝这样的大型公共工程项目告诉人们，经济正在复苏。从罗斯福身上，我们可以看出那个时代对物质环境的态度：因为人类，自然才有价值。电既是人类社会进步的一个表现，又可以为自然界赋予价值，因此非常重要。电能销售可以收回在水坝和发电站上的投入，电还可以用来抽水，将加州的荒漠浇灌成一片绿洲。对于时代呼唤的进步而言，电既是它的源泉，又是它的象征。

罗斯福巧妙地借用了恺撒大帝的名言“吾至，吾见，吾征服”，并以此开始了自己的演讲：“今天上午，像所有第一次亲眼看见这个伟大壮举的人一样，我来了，我看到了，我被征服了！”他说，这里曾经是一片不毛之地，“我们今天聚集的这个地方，10年前还是一片无人居住、令人生畏的沙漠”。他把博尔德市发生的这一切称为“20世纪的奇迹”，他对胡佛水坝的规模赞不绝口，这明显是为了呼应这个大规模时代。他接下来说的话与电的历史关系密切，胡佛水坝的电力系统（当时尚未完工）“将装配美国有史以来规模最大的发电机和涡轮机”，发电能力“接近200万马力”，也就是约1500兆瓦。[注]

罗斯福指出，这项工程比合同规定的最终期限提前两年完成，为此他特别表扬了这个项目的效率和人们的辛勤，“感激成千上万的工人为这项伟大工程付出的脑力和体力”。除了令人印象深刻的建设壮举，罗斯福还说水坝将促进“工农业发展”，并为西南部居民的“身心健康”做出贡献。他提到了美国联邦和各州在解决水资源分配问题时开展的合作，赞扬了国会议员菲利普·斯温和参议员海勒姆·约翰逊，但他没有提到赫伯特·胡佛，尽管胡佛曾就水资源分配问题达成了最重要的协议。罗斯福说，科罗拉多河是“一条难以驯服的河流”，对该地区没有任何价值（这句话再次反映了当时的文化对待物质环境的态度）。罗斯福还说：“帝王谷的人民生活在灾难的阴影

中。”罗斯福认为，1935年6月，“博尔德大坝将滔滔河水牢牢地拦住”，从而阻止了一场洪水；如果大坝早一年完工，1934年的那场干旱就有可能不会发生。在演讲中，罗斯福非常恰当地把就业问题放在核心位置上。他说，在大萧条时期，这项工程雇用了“4000名工人，其中大多数人都携带家眷一同前来”，“还有成千上万人通过生产物资和机械来谋生”。(注)

然而，罗斯福的演讲没有从全局的角度分析胡佛水坝对美国的未来意义。早在1932年10月30日，胡佛就通过对这个问题的分析，回击了他的对手罗斯福。胡佛说：“这次竞选不仅仅是两个人之间的竞争……而是两种政府哲学之间的较量。”罗斯福凭借他的大政府哲学在1932年的大萧条时期赢得了大选，对普通人来说，胡佛水坝带来的就业机会、水资源和电能，是证明罗斯福的大政府哲学的最有力证据。(注)

演讲结束后，胡佛水坝的建设也很快就完工了。1935年12月，一条修建于大坝之上的长达1180英尺的公路首次通车。1936年3月，联邦政府从六大公司手中接管了胡佛水坝。所有权变更通知单在六大公司报价的基础上增加了大约580万美元，也就是说，增幅不大，约为12%；六大公司的税后利润为1040万美元。1936年10月，水坝生产的第一批电能被输送到加利福尼亚。(注)

胡佛水坝留给世人的遗产

无论以什么标准来衡量，胡佛水坝都是一个宏大工程：1935年建成时，它是世界上最高的水坝，在之后的多年时间里它一直是世界上最大的水力发电机组。因为胡佛水坝规模巨大，它代表一种全新的技术，所以没有人可以保证这个工程一定会成功。胡佛水坝在没有超出预算的前提下按时开始生产电力，而且实现了预期的绩效，这本身就

是电力史上的一个巨大成功。20世纪80年代的首个核电站没有取得这样的成功，今天的清洁煤项目也没有取得这样的成功。

胡佛水坝的建设，很好地平衡了大政府和大企业这两种意识形态之争。水坝本来可以将大企业排除在外，由大政府独立完成。毕竟，在水坝开始修建之前，私营企业已经在急需解决的供水和防洪问题上遭遇了滑铁卢。事实上，索尔顿海就是私人投资者的疏忽所造成的严重环境危机。大萧条时期资本主义的崩溃又引起了广泛关注，因此大企业完全有可能被排除在外。但是，事实并非如此。从一开始，政府和企业就在尝试着建立伙伴关系。

商业和政府常常被描绘成水火不容的关系。按照今天的说法，胡佛水坝是建立在公私合作的基础之上的。政府履行了自己的职责，通过由7个相关州签订的州际协议，解决了水资源分配这个最棘手的政治问题。1935年，罗斯福匆匆忙忙赶去参加水坝的竣工典礼，声称胡佛水坝是他新政取得成功的象征，但正如我们所看到的，企业在其中发挥了不可或缺的作用。从更广泛、更重要的历史意义来说，公私合作的成功先例肯定给罗斯福带来了信心，后来，他又与大企业合作，生产美国军队在第二次世界大战中使用的武器。

胡佛水坝留给我们的另一个遗产是，它有助于我们了解所有发电技术的历史和前景。胡佛水坝并没有受限于当时的电力需求，而是着眼全局去解决美国西部的供水和防洪问题，电力生产的主要目的是对经济投入做出补偿。在未来发展每一项能源技术时，包括核能、风能、太阳能等，美国同样需要树立这种全局目标。胡佛水坝的例子也激励我们去审视文化信仰，看它对新技术、新项目有利还是不利。如果文化不支持我们将科学技术用于满足人类的需要和驯服环境，胡佛水坝就不可能建成。

当时的文化深受就业需求的影响，从胡佛水坝建筑工人所受的严酷待遇可以看出，很多工人迫切需要找到一份工作。值得注意的是，

政府的介入并没有改变这一严酷的现实。历史学家迈克尔·希尔兹克所说的“令人心酸的开头和结尾”，生动地反映出工人们做出的牺牲。心酸的开头是指在施工过程中第一个丧生的格里高利·蒂尔尼（Gregory Tierney）。1922年12月20日，这名勘探工人在科罗拉多河中溺水身亡。令人心酸的结尾是指他的儿子帕特里克（Patrick），他是施工过程中最后一个死亡的人，死于13年后的同一天。冒生命危险是进步的一部分，但是我们永远也不应该忘记在进步过程中失去生命的那些人。[注]

电的4个发展阶段泾渭分明，并各自找到了推动力，也留下了各自的印记。胡佛水坝应该属于其中的第三个阶段。在美国东部，富兰克林、爱迪生和威斯汀豪斯都提出了电力技术的概念，还推动了电力商业化的进程。在美国中西部地区，英萨尔为电力发展铺平了道路，使电成为人人用得上也用得起的东西。在美国西部，胡佛水坝告诉人们电可以驯服自然，还可以让自然界变成富饶的乐园。随后，美国西北部又建成了几座巨型水坝。第四阶段，也就是最后一个阶段，将在美国南部展开，执行者是田纳西河流域管理局。

---

1. Franklin D. Roosevelt, “Address at the Dedication of Boulder Dam,” The American Presidency Project, September 30, 1945, accessed October 1, 2016, <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=14952>.
2. Joseph E. Stevens, Hoover Dam: An American Adventure (University of Oklahoma Press, 1988), vii－viii.
3. Franklin D. Roosevelt, “Address at the Dedication of Boulder Dam.”
4. Michael Hiltzik, Colossus: The Turbulent, Thrilling Saga of the Building of Hoover Dam (New York: Free Press, 2010), ix.
5. Hiltzik, Colossus, 8－12, 18.
6. Hiltzik, Colossus, 19, 30, 33; Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 11－12.
7. Hiltzik, Colossus, 33－34, 36－39.

8. Hiltzik, Colossus, 39–42; Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 14.

9. Hiltzik, Colossus, 61–62; Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 17.

10. Hiltzik, Colossus, 73–75.

11. Hiltzik, Colossus, 81–84, 88; Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 26.

12. Hiltzik, Colossus, 109–11.

13. Scott Harrison, "St. Francis Dam Collapse Left a Trail of Death and Destruction," Los Angeles Times, March 19, 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.latimes.com/local/california/la-me-stfrancis-dam-retrospective-20160319-story.html>; Matt Blitz, "On Occasions like This, I Envy the Dead: The St. Francis Dam Disaster," Smithsonian, March 12, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.smithsonianmag.com/history/occasions-i-envy-dead-st-francis-dam-disaster-180954543/>; Hiltzik, Colossus, 113–15, 119.

14. Milton N. Nathanson, "Updating the Hoover Dam Documents," U.S. Department of the Interior, 1978, 6, accessed October 1, 2016, <http://www.onthecolorado.com/Resources/LawOfTheRiver/HooverDamDocumentsUpdated.pdf>.

15. Hiltzik, Colossus, 147; "Table 1.2—Summary of Receipts, Outlays, and Surpluses or Deficits (-) as Percentages of GDP: 1930–2021," Office of Managemen and Budget White House, <https://obamawhitehouse.archives.gov/omb/budget/Historicals>

16. Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 34; Hiltzik, Colossus, 161–62.

17. Hiltzik, Colossus, 141; Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 38.

18. Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 39–42.

19. Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, 46.

20. Hiltzik, Colossus, 199.

21. Hiltzik, Colossus, 208–11. See also J. L. Savage and Ivan E. Houk, "Checking Arch Dam Designs with Models," Civil Engineering, May 1931, accessed October 1, 2016, <https://www.usbr.gov/lc/hooverdam/museum/clippings/clipart84.pdf>.

22. Hiltzik, Colossus, 275–76.

23. Stevens, Hoover Dam: An American Adventure, viii.

24. Boulder City: The Documentary, PBS, accessed October 1, 2016, <http://www.pbs.org/bouldercity/script.htm>; Andrew J. Dunar and Dennis McBride, Building Hoover Dam: An Oral History of the Great Depression (Reno: University of Nevada Press, 1993), 65; Building Boulder City, PBS American Experience, accessed October 1, 2016, <http://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/general-article/hoover-building-boulder-city/>; "Boulder City," UNLV University Libraries, accessed October 1, 2016, <http://digital.library.unlv.edu/collections/hoover-dam/boulder-city>.

25. Boulder City; Building Boulder City; "Hoover Dam: Wages," Reclamation: Managing Water in the West, March 12, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.usbr.gov/lc/hooverdam/history/essays/wages.html>.

26. Ed Koch, "'Eighth Wonder of the World' Workers Suffered Hardships, Death to Build Historic Hoover Dam," Las Vegas Sun, May 15, 2008, accessed October 1, 2016, <http://lasvegassun.com/news/2008/may/15/what-dam-project/>; Dunar and McBride, Building Hoover Dam: An Oral History of the Great Depression, 42–44.41 1

27. "Hoover Dam: Fatalities at Hoover Dam." Reclamation: Managing Water in the West, last updated March 12, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.usbr.gov/lc/hooverdam/history/essays/fatal.html>; "Lawsuit against Six Companies," UNLV University Libraries, accessed October 1, 2016, <http://digital.library.unlv.edu/collections/hoover-dam/lawsuit-against-six-companies>; "Hoover Dam: High Scalers." Reclamation: Managing Water in the West, last updated March 12, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.usbr.gov/lc/hooverdam/history/essays/hscaler.html>.

28. Hiltzik, Colossus, 127, 295–97.

29. Hiltzik, Colossus, 296–98.

30. Hiltzik, Colossus, 296–99.

31. Hiltzik, Colossus, 299, 303, 309–12, 315.

32. Hiltzik, Colossus, 340.

33. Roosevelt, "Address at the Dedication of Boulder Dam."

34. Roosevelt, "Address at the Dedication of Boulder Dam."

35. Herbert Hoover, "Address at Madison Square Garden in New York City," The American Presidency Project, October 31, 1932, accessed October 1, 2016, <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=23317>.

36. Hiltzik, Colossus, 382 – 83.

37. Hiltzik, Colossus, 382 – 83; Hiltzik, Colossus, 217.

第10章　利连索尔的田纳西河流域管理局实验

这些天来，在田纳西河流域贫瘠、肮脏、凄凉的灰色阴影映衬下，一片充满希望的乐土正沐浴着金色阳光，徐徐崛起。

——罗瑞纳·希科克（1934）注

除了胡佛水坝以外，罗斯福任美国总统初期，还通过建立田纳西河流域管理局，进一步推动了电力服务的发展历程。胡佛水坝把电力服务推广至美国西部，田纳西河流域管理局则让电力服务延伸至美国南部。这两个项目推动了同一个目标的实现，但方法截然不同，其中的具体差异对于电力发展史来说具有至关重要的意义。这些细节表明，虽然联邦政府的行为对于胡佛水坝和田纳西河流域管理局来说都非常重要，但联邦化既不是一刀切，也不意味着当地的声音受到了压制。

第一个总统任期刚过了36天，罗斯福就向国会提交了建立田纳西河流域管理局的议案。1933年5月18日，罗斯福签署了《田纳西河流域管理局法》。总统的新政催生了大量的新法案，依据这些新法案设立的新政府机构，对美国经济和美国人的生活进行了积极干预。然而，没有任何一项立法能更好地反映总统的信念——建立合适的政府机构，制订合适的计划，事态就会朝好的方向发展。罗斯福声称，田纳西河流域管理局将是“一个披着政府权力外衣，同时拥有私营企业的灵活性和主动性的公司”。《田纳西河流域管理局法》反映罗斯福对电力行业的未来充满信心，相信电将使人们的生活变得更方便，并且可以吸引新业务，创造新的就业机会。注

后来，田纳西河流域管理局提供的电力对美国赢得第二次世界大战发挥了重要作用。截至1940年，田纳西河流域管理局已经建成，它的地理位置十分理想，既可以为田纳西州的美铝公司提供电力，帮助制造飞机铝材，又可以将电力输送至亚拉巴马州的马斯尔肖尔斯，帮助生产军需品和化肥用料硝酸盐。此外，它还为曼哈顿计划位于田纳西州橡树岭的实验室供电，帮助完成第一批核武器的研发工作。随着战争期间电能产量激增，田纳西河流域管理局从一个专注于河运和农业发展的区域机构（电力供应的重要性对它而言仅排在第三位），转变为一个规模庞大的电力垄断组织。在刚成立时，田纳西河流域管理局的首要任务是水力发电，但现在，它已经有了更远大的目标。田纳西河流域管理局积极行动，启动了火力发电业务，也是第一批建造核电站的机构之一。随着时间的推移，田纳西河流域管理局逐渐成为美国最大的公用电力供应商。注

成立田纳西河流域管理局的想法源于罗斯福的授命和政治手腕，把这个想法变成现实的却是戴维·利连索尔（David Lilienthal）。即使在今天，田纳西河流域管理局内部也将利连索尔称为“田纳西河流域管理局之父”。作家史蒂夫·诺伊泽（Steven Neuse）为利连索尔传记选择的副标题“美国自由之旅”，则从另一个侧面对利连索尔进行了准确的描述。诺伊泽发现，利连索尔在田纳西河流域管理局任职期间发生了显著改变，从呼吁监管改革的典型进步人士变成一个要求政府掌握所有权与运营权的国家资本主义者。从这个意义上说，利连索尔领导的田纳西河流域管理局，是一个大胆探索工业民主管理方法的独特实验。也就是说，田纳西河流域管理局这个实验从正面解决了一个问题：在完全的私营企业到完全的政府指导这个范围内如何定位，才能对大到美国经济，小到电力行业，产生更大的推动力。只有在正确的时刻——大萧条和第二次世界大战，并选择正确的人——利连索尔，美国才可以完成这个实验。注

美味的大餐

田纳西河流域管理局萌芽于第一次世界大战期间。1916年，《国家安全法案》授权亚拉巴马州的马斯尔肖尔斯生产硝酸盐。到“一战”结束时，联邦政府已经投入了1亿美元的资金，但设施的建设仍没有完工。整个设施包含两个为生产军需品和制造化肥服务的硝酸盐工厂，以及一座水电站。雪城大学的政治学教授罗斯科·马丁（Roscoe Martin）称，自1918年政府控制的这个项目落户马斯尔肖尔斯之后，引发了长达15年的争论。“一战”结束后，哈定总统希望将联邦项目私有化，并提出通过竞标决定马斯尔肖尔斯设施的归属权。除亨利·福特以外，没有人愿意拿出500万美元来购买这个设施。福特和他的好友托马斯·爱迪生一起，前往马斯尔肖尔斯进行了实地考察。1924年，知名度不高、来自内布拉斯加州的共和党参议员乔治·诺里斯叫停了福特的收购计划。(注)

诺里斯对田纳西河流域的兴趣被激发出来。1926年，他提出了一项议案，建议联邦政府扩大马斯尔肖尔斯的规模，并在田纳西河沿岸建造其他水坝。在柯立芝任总统期间，该议案没有取得任何进展，后来又遭到了胡佛的否定。1929年，时任纽约州州长的罗斯福提议在纽约的圣劳伦斯河道建造公共水坝和发电厂，支持诺里斯想法的势力正在逐步形成。1933年1月，罗斯福和诺里斯一起去往马斯尔肖尔斯。罗斯福说，田纳西河将启动一项为“子孙后代”和“数百万尚未出生的人”造福的大型项目，马斯尔肖尔斯只是其中的一个部分。诺里斯问罗斯福，他准备成立的这个机构将如何定性，罗斯福回答说：“我要告诉他们，这既不是鱼，也不是鸡，但不管是什么，对于田纳西河流域的人民来说，它都将是一道美味大餐。”(注)

1933年的《田纳西河流域管理局法》

1933年3月5日，也就是罗斯福就任美国总统的第一天，众所周知且富有成效的百日新政从这一天开始了。1933年5月18日，他签署了《田纳西河流域管理局法》。该法案不仅为田纳西河流域管理局指明了行动方向，也确定了它的职权范围。田纳西河流域管理局在“田纳西河流域盆地和毗连土地”上需要实现的长期目标，按照先后次序分别为：最大限度地控制洪水，最大限度地发展河运，以及“在控制洪水和发展河运的同时最大限度地完成电力生产”。(注)

至关重要的是，田纳西河流域管理局将由一个三人独立委员会进行管理，委员会成员由总统任命，但参议院有建议权和否决权。为了消除可能的利益冲突，委员会成员不得与公用事业公司和其他相关公司有任何经济利益关系。除了“建设发电厂房、电力系统、输电线路、河运工程和在田纳西河及其支流上的附带工程，以及利用输电线路将不同发电设施连接成一个或多个电力系统”之外，田纳西河流域管理局还有建造水坝和水库的权利。管理局也拥有“生产、输送和销售电能的权利”。它可以将“剩余电能出售给……州、县、市、公司、合伙企业或个人”，不过必须优先考虑出售给非营利性组织。管理局还有出售电能或债券以筹集资金的权利。法案指出（至少有这样的暗示），田纳西河流域管理局的职责不仅限于水力发电，还可以为“未来建造大坝、蒸汽发电厂或其他设施”筹集资金。(注)

利连索尔入主田纳西河流域管理局

早年经历

戴维·利连索尔去世后，《纽约时报》上刊登的讣告对他进行了这样的概括：“利连索尔先生为人热情奔放、洒脱不羁，生前是一位运动员、知识分子、行政人员。中学时接受过成为一个职业拳击手的培训。大学毕业时，他获得了美国大学优等生荣誉学会颁发的金钥匙

奖章，还是一位有名的轻量级拳击手。”在他职业生涯的每个阶段，利连索尔都感受到了对手的压力，因此他不停地战斗。当然，他使用的不是拳头，而是言语和文字。利连索尔一生都对公共事务充满热情，在印第安纳州密歇根城上中学时，就发表了一篇题为“掠夺成性的富人”的演讲。后来，利连索尔进入印第安纳州的迪堡大学，学习成绩令人满意，但并不是特别突出。不过，他积极报名参加各种演讲比赛，抓住一切机会提升他的演讲技能。㊟

利连索尔对律师在进步主义政治运动中所起的作用印象深刻，因此决定加入这个行业。后来，他考取了哈佛大学法学院，并且在费利克斯·弗兰克福特（Felix Frankfurter）教授的公用事业法律课上表现出色。弗兰克福特是罗斯福的一名顾问，后来成为最高法院法官，也是利连索尔的重要导师之一。路易斯·布兰代斯（Louis Brandeis）也对利连索尔产生了重要影响。1923年，利连索尔在《新共和》（*New Republic*）杂志上发表了一篇文章，标题为“劳动与法庭”。在文章中，他响应布兰代斯的号召，提出“法官应该关注社会，富有创造性”。哈佛大学的另一位法学教授弗兰克·沃尔什（Frank Walsh）鼓励利连索尔毕业后去芝加哥，到唐纳德·里奇伯格（Donald Richberg）那里谋职。里奇伯格是一名劳工律师，为铁路工会工作，并在1926年帮助起草了《铁路劳动法案》。后来，他成为罗斯福的一名重要顾问，参与起草了《全国工业复兴法》。与这些重要的进步主义人士合作共事，利连索尔很快就得到了与罗斯福见面的机会。㊟

职业生涯

利连索尔为里奇伯格工作了三年，为里奇伯格在美国最高法院打赢的两起劳动官司做出了贡献。他还接触过一些重要的公用事业相关问题，比如在确定公用事业费时如何评估资产，如何正确区分谨慎投资法和重置成本法。如果一种资产（比如，一台小型发电机）的原始

成本是10万美元，谨慎投资法将以原始成本为基础确定用户支付的费用。相比之下，随着时间推移，重置这台小型发电机的成本上升到11万美元，那么重置成本法将会以11万美元为基础来考虑公用事业费。注

由于法院开始关注劳工问题，而他本人也逐渐对公用事业问题产生了兴趣，因此利连索尔决定全身心地投入公用事业法领域。其间，他于1929年和1931年先后在《哥伦比亚法律评论》（*Columbia Law Review*）期刊上发表了两篇关于州政府对公用事业控股公司实施监管的文章。他在文中分析了当时社会担忧的问题，然后呼吁应该对控股公司和它拥有的公用事业公司之间签订的合同实施严密监管，同时严格审查它们发行的证券。威斯康星州的进步主义人士随后向他提供了一个高调进入公用事业领域的机会。1931年，时任州长菲利普·拉福莱特（Philip La Follette）邀请利连索尔加入威斯康星铁路委员会。注

尽管威斯康星州是第一批在1907年建立公用事业管理委员会的州之一，但是利连索尔的传记作者诺伊泽认为，拉福莱特肯定是看到了改革的巨大机遇。在大萧条时期，各地的物价和利润都在下降，而公用事业的利润却居高不下。其中一个原因是重置成本法被广泛地用作设定费率和利润水平的基础，而现在这种做法将受到质疑。美国许多州纷纷推选出主持改革的人选，利连索尔成为威斯康星州委员会事实上的主席。在利连索尔的领导下，州委员会不再坐等人们投诉，而是主动调查所有公用事业的收费情况，调查费用由公用事业公司承担。委员会也有了一个新名字：威斯康星州公共服务委员会。注

利连索尔推出了一些为公用事业公司的产品定价的新方法。在一个电话费率案例中，利连索尔提出了一个降低费用的理由，这个理由基于大萧条时期的现实状况。他的理由是，由于价格在整体上呈下降趋势，保持价格不变意味着公用事业费实际上在增加。一些著名的经

济学家，如公用事业方面的著名专家、哥伦比亚大学商学院的詹姆斯·邦布赖特（James Bonbright），都支持利连索尔的这个观点。注

公用事业委员会是由参议员小罗伯特·拉福莱特和乔治·诺里斯发起成立的，在利连索尔于1931年加入该委员会之后，他成为全美知名人物。然而，1932年，因为咄咄逼人的风格，再加上拉福莱特的声望下降，利连索尔陷入政治困境。这时，布兰代斯向罗斯福举荐了利连索尔。1933年6月，罗斯福提名利连索尔为田纳西河流域管理局委员会委员。注

打破僵局

到田纳西河流域管理局工作后，利连索尔说："在美国多个州中，不是州监管机构在监管公用事业公司，而是公用事业公司在监管州监管机构。"田纳西河流域管理局将从根本上改变这种公用事业监管机制。利连索尔认为，田纳西河流域管理局的成立，"说明我们正在尝试通过竞争，而不是通过准司法委员会，对公用事业实施监管。法案明确要求联邦政府必须干预像电力这样的行业"。这样做的最终目的是，"制定一套标准，用来衡量私营公用事业公司的收费是否公平，以防止破坏性的金融活动"。利连索尔说，在田纳西河流域管理局成立后，政府的角色将不再局限于在法庭上讨论什么是诚实电价，而是通过参与发电，来确定现实世界中的诚实电价应该是多少。注

利连索尔看到了降低电费的主要障碍，"现在，我们已经对这个商业僵局有了整体了解。电力公司坚持认为，在用电量大幅增加之前，它们不能大幅降低电价。它们还认为，除非用电设备进入千家万户，否则用电量不会大幅增加。"为了摆脱这个进退维谷的困境，田纳西河流域管理局的下属机构——住宅和农业用电管理局，将敦促家电制造商生产出低成本的电器，同时为电器用户提供补贴。注

内部斗争和外部竞争

除利连索尔外，田纳西河流域管理局独立委员会还有另外两名成员。巧合的是，这两名委员姓氏相同。阿瑟·摩根（Arthur Morgan）被任命为委员会主席，他曾是俄亥俄州安提阿学院的院长，也是乌托邦思想家爱德华·贝拉米（Edward Bellamy）和管理大师弗雷德里克·泰勒（Frederick Taylor）的追随者。1888年，贝拉米写了一篇宣扬乌托邦理想的小说，名为“从2000年回顾1887年”。这是对资本主义的直接有力的控诉，并强烈呼吁政府对生活实施全方位的管理。阿瑟·摩根对贝拉米非常感兴趣，并因此写了一本传记，但在实践中，他似乎对贝拉米的乌托邦理想半信半疑。在诺伊泽的笔下，阿瑟·摩根是“一位高明的工程师、大坝建筑师和社会梦想家”，对官僚秩序和政治手腕兴趣不大。注

阿瑟·摩根和利连索尔都不是田纳西当地人，但委员会的第三位成员哈考特·摩根（Harcourt Morgan）已经在那里生活50年了。他曾是田纳西大学农业学院的院长，他的视线主要集中在“土壤、空气、水和所有生命体”的相互联系上。利连索尔自嘲说，他是唯一一个不姓摩根的委员会成员，没有博士学位，也没当过大学校长。注

三名委员会成员的分工是：阿瑟·摩根负责水坝、航运、“社会实验”以及田纳西河流域管理局不同目标的“整合”，哈考特·摩根负责农业项目，利连索尔负责电力和法律问题。从一开始，三人之间的关系就比较紧张，许多会议最后都演变成“喧嚣的争吵”。对于利连索尔来说，电力是田纳西河流域管理局应该关心的全部内容，因此他的目标就是加大电力生产，从而大幅降低电价。他认为，此举可以帮助那些囊中羞涩的人生活得更轻松。他说，引入公用电力，意味着密西西比州图珀洛市的公用事业费将降低60%。有趣的是，他的这个目标与英萨尔非常相似，英萨尔认为低价有利于增加用电量，用电量增加又可以使价格进一步降低，因为固定成本被更多的用户分摊了。在

这个背景下，利连索尔与阿瑟·摩根之间发生了冲突，因为摩根希望降低电力在总体业务中的比例，并限制管理局向私营电力公司销售电能的行为，更不要说与这些公用事业公司竞争用户了。注

利连索尔不仅在电能销售问题上与阿瑟·摩根发生了冲突，还不得不与温德尔·威尔基（Wendell Willkie）展开博弈。威尔基是为田纳西河流域服务的一家名为联邦和南方控股的私营电力公司的总裁。当时，他正处于进退两难的境地。如果他接受利连索尔的建议，把在当地的电力传输和配送设施卖给田纳西河流域管理局，管理局的规模就会变得更大，成为一个更强大的竞争对手。然而，如果威尔基拒绝出售，田纳西河流域管理局可以用联邦资金购买其他的电力传输和配送设施，照样与他形成竞争。此外，利连索尔（和罗斯福）的理念是建立公用事业费率标准，与私营公用事业公司进行价格竞争。尽管这个理念本身没有什么问题，但是出于若干原因，两者之间的价格竞争是不公平的。因为田纳西河流域管理局享受联邦政府的补贴，成本比较低，所以威尔基无法在价格上与之竞争。此外，管理局使用的大多是低成本的水力资源，而且它的电力价格不包含配送成本，这些优势都是威尔基不具备的。注

法庭之战

利连索尔不得不在法庭上与私营电力公司作战。反对罗斯福新政的人把法庭视为战场，田纳西河流域管理局的对手亦如此。阿斯旺德诉田纳西河流域管理局案，对管理局销售电力的行为是否符合美国宪法，以及联邦政府的资金是否可以用于建设社区输电和配电设施等问题提出了质疑。田纳西河流域管理局在亚拉巴马州的法庭上输掉了官司，但亚拉巴马州的判决结果又被联邦法院推翻了。1935年，美国最

高法院维持了联邦法院的判决，但判决结果仅局限于田纳西河流域管理局可以销售位于马斯尔肖尔斯的威尔逊大坝生产的电能。㊟

后来，在一桩涉及田纳西电力公司的案件中，田纳西河流域管理局电力销售的合宪性再次受到了挑战。美国最高法院最终裁定，这些公用事业公司没有理由提起诉讼，因为它们没有垄断权。虽然法院没有对田纳西河流域管理局电力销售的合宪性做出裁决，但私营电力公司在法庭上屡屡受挫，使威尔基最终意识到田纳西河流域管理局“将会继续存在”。因此，他同意把联邦和南方控股公司的所有设施，以及亚拉巴马州和密西西比州的部分设施，卖给田纳西河流域管理局。国会拨付了购买这些设备所需的资金，㊟更令人关注的是，国会对田纳西河流域管理局没有提出任何地理条件上的限制。这些案件非常重要，从中可以看出美国最高法院允许国家资本主义取代受监管的私人资本主义。㊟

利连索尔和阿瑟·摩根之间的公开斗争仍然没有停息，就连《大西洋月刊》（*Atlantic Monthly*）和《纽约时报》也刊登了相关内容。阿瑟·摩根在《大西洋月刊》上发表了一篇为公共权力辩护的文章，但他又批评道，某些人（指利连索尔）积极反对私营公用事业公司，恨不得对这些公司全面开战。早在阿瑟·摩根之前，温德尔·威尔基就已经在《大西洋月刊》上发表过一篇文章。利连索尔抓住这个把柄，对这两篇文章进行了详细比较，暗指阿瑟·摩根在一定程度上被私营公用事业公司控制了。㊟

阿瑟·摩根指责利连索尔存在种种不当行为（比如，不顾实际情况，对私营公用事业公司心存偏见），并呼吁国会对利连索尔展开调查。至此，两人之间的斗争达到高潮。罗斯福对阿瑟·摩根指责利连索尔的言行感到不厌其烦，要求他拿出证据。由于阿瑟·摩根无法（也可能是不愿意）举证，他被罗斯福解雇了。尽管如此，国会还是对此展开调查，并在1938年5月至12月举行了为期70天的听证会。最

后，调查委员会的10名成员中有6人认为田纳西河流域管理局和利连索尔没有任何不当行为。[注]

对战争胜利的卓著贡献

独特的地理位置决定了田纳西河流域管理局的规模必然庞大。它的管辖范围是田纳西河及其支流流经的地方，覆盖了田纳西、肯塔基、弗吉尼亚、北卡罗来纳、佐治亚、亚拉巴马和密西西比这7个州的部分地区。利连索尔在他的里程碑式著作《田纳西河流域管理局：民主在前进》（*TVA:Democracy on the March*）中称，田纳西河流域管理局当时管理着21座大坝，其中16座是新建的，而且整个体系已经收到了7亿美元的投资。他说，在这些投资中，有65%的资金用于发电，20%用于防洪，剩下的15%用于河运。接着，利连索尔根据他个人的理解，简单描述了1933—1943年的10年时间里，田纳西河流域管理局的投资对田纳西河流域产生的重要影响。在吸纳了这么多的投资之后，田纳西河流域管理局与美国其他地区相比，处于什么位置呢？利连索尔自豪地说，田纳西河流域管理局是美国第二大发电机组，1944年的月均发电量为10亿千瓦时。而10年前，管理局覆盖区域的人均发电量远低于美国的平均水平。经过10年的投资，这个区域的人均发电量已经比美国的平均水平高出50%左右。利连索尔把电力视为管理局的首要任务，这些数据充分证明了他的成功。[注]

在回顾田纳西河流域管理局取得的成就时，利连索尔忍不住将他管辖范围内的那些大坝与胡佛水坝和大古力水坝进行了对比。他发现，仅就混凝土的使用量而言，管理局建造所有新水坝使用的混凝土是胡佛水坝的4倍。此外，胡佛水坝是由6家大型私营公司共同建造的，大古力水坝是由10家这样的公司建造的，而管理局仅凭一己之力，就完成了田纳西河流域大坝体系的建设工作。[注]

田纳西河流域管理局为美国在“二战”中取得胜利所做出的贡献，更值得关注。利连索尔称，管理局在战争中发挥了四大作用。第一，管理局向诺克斯维尔以南的美国铝业公司提供了充足的电力。美国铝业公司在应罗斯福的要求建设拥有5万架飞机的空军力量的过程中，发挥了非常重要的作用。第二，管理局提供了充足的电能和冷却用水，使联邦政府下定决心在田纳西州秘密建造了一座名为橡树岭的城市。管理局输送到橡树岭的电力被用于生产核材料，制造原子弹并投放到日本。第三，马斯尔肖尔斯生产的硝酸盐主要用于制造军需品和化肥，大部分的硝酸盐被运往美国在欧洲的盟国。第四，管理局在田纳西河流域拥有先进的空中侦察等测绘技术。后来，这些技术在欧洲得到应用，为盟军飞行员绘制了大量地图。注

田纳西河流域管理局的支持对美国取得战争胜利具有非常重要的意义。不过，范德比尔特大学的退休教授欧文·哈格罗夫（Erwin Hargrove）却认为，“二战”对田纳西河流域管理局来说同样重要。正是因为这场战争，使得《田纳西河流域管理局法》赋予该管理局的权限远不只是航运和防洪。田纳西河流域管理局成为美国最大的综合电力系统，在它生产的电能中，用于支持战争的比例一度高达75%。田纳西河流域管理局管辖范围内的就业人数显著增加，从1940年的1.4万人上升到1942年的4.2万人。“二战”为管理局在田纳西州瓦茨吧建立第一个非水力设施——蒸汽发电机组，提供了理由。有了这个蒸汽发电站，管理局就不再单纯依靠田纳西河和水力发电了，实现了从一个区域性管理者到一个重要的电力垄断组织的转变。由于田纳西州橡树岭和肯塔基州帕迪尤卡的联邦设施需要使用电力制造核武器，管理局趁机建造了更多的蒸汽发电设施。最重要的是，田纳西河流域管理局在“二战”期间的贡献，为它披上了一层卓有成效的政府机构的外衣。注

前进还是倒退？

在很多人的心目中，田纳西河流域管理局代表的不只是混凝土、水和电，它也对田纳西河流域的福祉产生了巨大影响。田纳西河流域管理局是美国在电力领域的先进性和专业性的象征，为全球经济和政治发展树立了榜样。田纳西河流域管理局成立一年之后，它的惊人影响力开始为人所了解。大萧条后期，深受罗斯福信任的顾问哈利·霍普金斯（Harry Hopkins）委派他的好朋友、富有开拓精神的记者罗瑞纳·希科克（Lorena Hickok），去见埃莉诺·罗斯福，向她汇报新政的影响。

1934年，希科克写信给霍普金斯，介绍了她在田纳西河流域管理局的所见所闻："这些天来，在田纳西河流域贫瘠、肮脏、凄惨的灰色阴影映衬下，一片充满希望的乐土正沐浴着金色阳光，徐徐崛起。"接着，她写道："一万名工人正在用木材、钢铁和混凝土，建造新政下最宏伟的工程，创造一个潜力巨大、令人眼花缭乱的帝国。这一切不由得让人叹为观止。"她参观了诺里斯大坝和惠勒大坝的建筑工地，还参观了威尔逊大坝。诺里斯大坝和惠勒大坝的建筑工人让她震惊不已，因为他们"每天工作5.5个小时，每周工作5天，赚取基本的生活费。他们的住房正在建设中，比他们以前住的房子好。闲暇时，他们学习耕种、做生意和生活的艺术，为他们在这片希望的乐土上过上更充实的生活做准备。"这与胡佛水坝的艰苦工作条件形成了鲜明对比。霍普金斯委派希科克等记者去往现场的目的是，让自己及时了解美国人的需求和情绪。尽管他们的听众只有一个人，但希科克等记者还是认真地描述了他们的所见所闻，也为我们留下了珍贵的历史资料。[注]

利连索尔也激情澎湃地描述了田纳西河流域管理局的影响作用。他说他写那本书的目的就是向股东做报告，但他紧接着说道，全体美国人都是田纳西河流域管理局的股东。在评价田纳西河流域管理局的作用时，利连索尔说："人、科学和组织技能，加上水、土地、森林、矿藏等资源，为美国人民带来了巨大的好处。"其中最重要的一

个好处就是改变了美国人民对待未来的态度，“人们不再认为贫困不可避免，也不再认为苦役、疾病、肮脏、饥荒、洪水和身体疲劳是因为魔鬼作祟或者神灵的惩罚”。利连索尔总结道，历经10年时间，田纳西河流域及其周边地区已经焕然一新。(注)

希科克和利连索尔的这些文字比政治偏见更有说服力，它们反映了一种基本的文化观点：电是一种好东西，因为它使田纳西河流域实现了现代化，并给这里带来了文明。它最终的成败只能在国家既定目标这个层面上加以评判。田纳西河流域管理局的目标是让所有人，包括农村地区，都用得上也用得起电，从这个目标看，它取得了重大胜利。不过，目标不同时，成功还是失败的判断标准也会发生变化。

利连索尔还坦率地谈及田纳西河流域管理局的道德或精神层面的目的。他写道：“科学和技术现在所取得的物质成就可能不会带来任何好处……除非它们有道德目的。”道德目的必须体现在统一的资源开发中，资源开发必然“受自然统一性的约束”。他还提出，资源开发必须确保所有利益相关者全员参与。利连索尔认为，电力合作机构召集那些既是消费者又是所有者的人参加的会议，经常带有某种“感情色彩”和“精神意义”。在这里，我们或许可以将利连索尔的世俗信仰与法拉第的精神信仰相提并论，两者的核心观点都是自然界的统一性。(注)

田纳西河流域管理局是政府所有的机构，而不是政府监管的私营公用事业公司。在冷战期间，自由市场资本主义与共产主义制度下中央计划经济处于对立状态。对此利连索尔表示，他担心政府和企业过于集中，他倾向于田纳西河流域管理局这种模式，既有利于电力生产实现集中化，又将电力配送的权利下放给当地私营电力公司，从而在政府与企业之间实现平衡。他认为，联邦政府在华盛顿特区对纽约市的电力配送实施遥控管理，效果应该不如当地的电力控股公司直接管理好。利连索尔知道肯定有人想要了解他的政治信仰，因此他明确表

示，田纳西河流域管理局必须远离政治。他说：“河流没有任何政治倾向性。”㊟

利连索尔的《田纳西河流域管理局：民主在前进》一书得到了很多好评，但也有人提出了质疑。新政的参与制定者之一、罗斯福智囊团的著名成员雷克斯福德·特格威尔（Rexford Tugwell）在说到这个项目时称其为“民主的倒退”。诗人、重农派元老级人物唐纳德·戴维森（Donald Davidson）指责田纳西河流域管理局的水坝建设导致7万人流离失所，批评管理局大搞“家长式作风”，而不倡导“参与性”。《田纳西河流域管理局的神话》（*The Myth of TVA*）的作者威廉·钱德勒（William Chandler）认为，因为利连索尔的书是很多人了解田纳西河流域管理局的唯一信息来源，所以在20世纪70年代之前，那些针对该管理局的中肯批评一直没有市场；直到20世纪70年代，管理局的核能项目出现问题，学者们才对利连索尔和他的政府所有权模式提出了批评。㊟

后世的评价

20世纪50年代初，两位受人尊敬的学者——纽约市立学院的诺曼·温格特（Norman Wengert）和雪城大学的罗斯科·马丁，分别回顾了田纳西河流域管理局成立之初设定的目标和取得的实际成就，以评估管理局的发展历程。尽管评估方法略有不同，但是两位学者得出了类似的结论。简单地说，田纳西河流域管理局取得了很多成就，但是到第二次世界大战快结束时，它已经演变为一个典型的大型电力公司。

温格特的文章标题暗示了他的结论：“田纳西河流域管理局：象征意义和实际成就”。温格特说，田纳西河流域管理局的“象征意义可能比它取得的实际成就更持久、更重要，无论这些成就多么令人印

象深刻”。为了说明人们对田纳西河流域管理局寄予的厚望，他引用了著名历史学家亨利·康马杰（Henry Commager）的话：“宪法的广泛建设、大规模规划、沿区域界线重建联邦制、新的管理技术、民事服务新标准、科学与政治的结合、通过精心制订的经济和社会重建计划实现民主复兴的努力，这些都在这里（田纳西河流域管理局）得到了检验。”注

在“‘自由企业体系’土崩瓦解”之后，人们希望政府可以做出广泛的规划。但是温格特认为，田纳西河流域管理局并没有做到，提出的规划十分狭隘。温格特还给出了造成这个结果的多个原因。原因之一是，管理局刚成立时，委员会成员之间的斗争对规划产生了负面影响。阿瑟·摩根对利连索尔的指控导致国会展开调查，而法庭上来之不易的胜利同样造成了不好的影响。还有一个原因是，电力在田纳西河流域管理局的诸多职能中占据了绝对的优势地位。此外，温格特称，管理局没有对广泛的、区域范围内的经济规划提供政治支持，因为这样的规划本质上是一个设定政治目标的过程，但是没有一个区域性政治机构来完成这项工作。管理局之所以无法扮演这个政治角色，是因为它的委员会及其成员都不是选举产生的。因此，田纳西河流域管理局陷入了一种“专注于发展电力和化学”的狭隘境地。注

马丁基本上得出了同样的结论。他认为，田纳西河流域管理局虽然在防洪与河运这两个方面取得了很多成就，但从20世纪50年代往回看，就可以看出它已经变成了一个典型的大型电力公司。在他看来，管理局发生蜕变的根源，就在于马斯尔肖尔斯军工厂及电力设施的处理问题所引发的那场持续了15年的争端。从本质上看，那是一场公共开发和私人开发之间的意识形态之争。诺里斯试图通过立法程序组建田纳西河流域管理局，结果连续遭遇了7次失败，但是大萧条和罗斯福的成功当选最终为诺里斯铺平了道路，使他的梦想通过《田纳西河流域管理局法》的形式得以实现。尽管如此，该法案主要关注的是防

洪、河运和电力生产，视野明显比较狭隘。最高法院判决田纳西河流域管理局拥有电力销售权，进一步加剧了这种狭隘性。㊟

田纳西河流域管理局留给世人的遗产

和胡佛水坝一样，田纳西河流域管理局也推动了美国各地电力事业的发展。从一开始，管理局就有意全力帮助贫困的田纳西河流域发展经济，其中电力扮演着一个重要的非主导性角色。从这个项目中可以看出罗斯福和诺里斯的愿望，也可以看出独立委员会成员阿瑟·摩根和哈考特·摩根的愿望。然而，在各种因素的共同作用下，这个项目很快就变成了一项雄心勃勃的努力——把生产的电力供应给流域内的所有企业和家庭，从而对经济发展产生了深远的影响。促使管理局发生这种变化的最具影响力的推动因素，就是利连索尔。在他的指导下，田纳西河流域管理局成为美国国家资本主义的一项罕见的大规模实验。

田纳西河流域管理局实验显著地改变了美国电力行业的发展道路。从温德尔·威尔基的联邦和南方控股公司可以看出，利连索尔代表的国家资本主义和受到监管的私人资本主义之间爆发了一场激烈的战斗。私人资本主义，即使是源于英萨尔的那种受到监管的私人资本主义，也没有机会在田纳西河流域取胜。它无法拥有联邦政府馈赠的那些优势。如果没有联邦政府的资助，考虑到风险因素，私人资本主义的动作肯定要慢一些。如果动作不够快，它就无法实现罗瑞纳·希科克笔下的那种成千上万人所体验到的经济影响力。

值得注意的是，利连索尔的国家资本主义和英萨尔的私人资本主义在目标和策略这两个方面是一致的：增加电力系统的规模和范围，以实现规模经济，降低电价。价格下降将增加需求，引发新一轮的成

本和价格下降。吸引新用户是核心目标，在第二次世界大战期间，田纳西河流域管理局处于非常有利的位置。

考虑到罗斯福在其他场合的言行，他竟然允许这个实验继续进行下去，着实令人感到吃惊。在波特兰演讲时，他说电力业务应该交给私营企业。胡佛水坝项目也没有大力推行国家资本主义，电能被卖给其他公有和私营公用事业公司。田纳西河流域管理局实验似乎说明罗斯福不是一个空想家，而是一个实用主义者。

如果田纳西河流域管理局证明它是私人资本主义的一个有益且可靠的替代品，那么今天的美国电力业务将会有很大的不同。然而，它最终蜕变成（现在仍然是）一个大型公用事业公司，同私营公用事业公司没有任何区别，有大把的机会干好事或者干坏事。与许多私营公用事业公司一样，田纳西河流域管理局后来在核电项目上的失败削弱了它的政治支持，因为它与自己的目标（生产充足的电，让人人都用得起电）已经渐行渐远。与所有私营公用事业公司一样，田纳西河流域管理局也面临着环境危害指控，包括危害濒危物种（如蜗牛镖鲈，在它建造田纳西河大坝时发现的一种鱼）、大型燃煤电厂排放二氧化碳导致全球气候变化等。不过，当田纳西河流域管理局与大型私营公用事业公司之间的共同之处清楚地显现出来时，它已经大而不能倒了。尽管田纳西河流域管理局严词狡辩，这种狡辩甚至让人深信不疑，但都不能证明它具有革新性或可复制性，也不能证明它是工业民主普遍适用或者电力行业具体适用的一种新型管理形式。

---

1. Lorena Hickok.“Dear Mr.Hopkins,”The New Deal Network,June 6,1934,accessed October 1,2016, <http://newdeal.feri.org/hopkins/hop15.htm>.
2. “The Enduring Legacy,”Tennessee Valley Authority,accessed October 1,2016,<http://152.87.4.98/heritage/fdr/index.htm/>;“The 1930s,” Tennessee Valley Authority,accessed October 1,2016,

<https://www.tva.com/About-TVA/Our-History/The-1930s>;Lorena Hickok, “Dear Mr.Hopkins.”

3. “TVA Goes to War,”Tennessee Valley Authority,accessed October 1,2016,<http://152.87.4.98/heritage/war/index.htm>; “The 1950s,” Tennessee Valley Authority,accessed October 1,2016, <https://www.tva.com/About-TVA/Our-History/The-1950s>; “The 1960s,” Tennessee Valley Authority,accessed October 1,2016, <https://www.tva.com/About-TVA/Our-History/The-1960s>.

4. Steven M.Neuse,David E.Lilienthal: The Journey of an American Liberal (Knoxville:University of Tennessee Press,1996).

5. Roscoe C.Martin, “The Tennessee Valley Authority: A Study of Federal Control,”Law and Contemporary Problems (1957): 353－54,accessed October 1,2016, <http://scholarship.law.duke.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2721&context=lcp>;Erwin C.Hargrove,Prisoners of Myth: The Leadership of the Tennessee Valley Authority 1933－1990 (Knoxville: University of Tennessee Press,2001),19;Jack Neely, “Clash of the Titans,”Tennessee Valley Authority,accessed October 1,2016, <http://152.87.4.98/heritage/titans/index.htm>.

6. Neely, “Clash of the Titans”; “The Enduring Legacy.”

7. “Tennessee Valley Authority Act,”U.S.National Archives Records Administration,Transcript of Tennessee Valley Authority Act (1933),section 23.

8. “Tennessee Valley Authority Act,” sections 2(a),2(f),4(i),5(e),10,15.

9. “David E.Lilienthal Is Dead at 81;Led U.S.Effort in Atomic Power,”New York Times,January 16,1981,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/1981/01/16/obituaries/david-e-lilienthal-is-dead-aty-81-led-us-effort-in-atmoic-power.html?pagewanted=all>;Neuse,Journey of an American Liberal,6,12.

10. Neuse,Journey of an American Liberal,20,23－25,29; “Donald R.Richberg,”University of Minnesota,accessed October 1,2016, <http://darrow.law.umn.edu/photo.php?pid=1312>.

11. Neuse,Journey of an American Liberal,27,29,32.

12. Neuse,Journey of an American Liberal,37,43.

13. Neuse, Journey of an American Liberal, 42, 44–47.

14. Neuse, Journey of an American Liberal, 51.

15. Neuse, Journey of an American Liberal, 55, 59–63.

16. David E. Lilienthal, "Business and Government in the Tennessee Valley," Annals of the American Academy of Political and Social Science 172 (March 1934): 46.

17. Lilienthal, "Business and Government in the Tennessee Valley," 48.

18. Neuse, Journey of an American Liberal, 68, 70.

19. Neuse, Journey of an American Liberal, 70–71.

20. Neuse, Journey of an American Liberal, 74–76.

21. Neuse, Journey of an American Liberal, 82, 84–85.

22. Neuse, Journey of an American Liberal, 88–89.

23. Neuse, Journey of an American Liberal, 89, 110–11.

24. Neuse, Journey of an American Liberal, 89, 110–11.

25. Neuse, Journey of an American Liberal, 99–100.

26. Neuse, Journey of an American Liberal, 100–101, 103–5, 108.

27. David Lilienthal, TVA: Democracy on the March (New York: Harper & Brothers, 1944) 11, 18, 45.

28. Lilienthal, TVA: Democracy on the March, 12.

29. "TVA Goes to War."

30. Hargrove, Prisoners of Myth, 60, 63; Neuse, Journey of an American Liberal, 104, 151, 160.

31. Lorena Hickok, "Dear Mr. Hopkins."

32. Lilienthal, TVA: Democracy on the March, dedication, ix, 3–4, 8.

33. Lilienthal, TVA: Democracy on the March, 6, 21.

34. Lilienthal, TVA: Democracy on the March, 144–46, 155, 185.

35. Neuse, Journey of an American Liberal, 139–46.

36. Norman Wengert. "TVA—Symbol and Reality," The Journal of Politics 13, no. 3 (1951): 369–70.

37. Wengert, "TVA—Symbol and Reality," 378–80, 384–89, 391.

38. Martin, “The Tennessee Valley Authority,” 353–56,375.

第11章　“煤炭王”的统治

煤炭中有人类工业的三个必备因素：光、热、电。

——索尔·阿林斯基（1949）注

无论煤炭工业的实际状况如何，“煤炭王”这个称谓似乎都名副其实。1917年，厄普顿·辛克莱（Upton Sinclair）写了一部名为“煤炭王”（*King Coal*）的小说，详细描述了煤矿工人面临的严酷工作条件。1976年，它的续集《煤炭战争》（*The Coal War*）在辛克莱去世后出版。即使今天煤炭行业的状况与过去已经大不相同，“煤炭王”这几个字眼还是经常出现在《纽约时报》《经济学人》等许多报刊的显要位置上。注

煤炭并不一直是高高在上的王。1850年，尽管煤炭的生产和运输已经成为美国完全商业化的业务，但煤炭仍然面临着当时的主要燃料——木材的激烈竞争。1850年，煤炭在所有能源消耗量中所占的比例还不到10%，余下的份额几乎都属于木材。最终，煤炭把木材挤到了角落。1920年，煤炭占所有能源消耗量的3/4。在占据主导地位之后，煤炭赢得了“煤炭王”的称号。煤炭地位的上升是煤炭价格下降促成的，还因为煤炭在当时的工业生产过程中被证明是更有效的能源。注

1949年，社会组织负责人、作家索尔·阿林斯基（Saul Alinsky）歌颂了煤炭的统治力：“煤炭是我们生活的主要动力。在地球的漫长历史过程中形成的这些黑色煤块，源源不断地为我们庞大的工业帝国注入能量……在这个帝国中，高速铁路彼此交错，巨型发电机发出轰鸣声，无数电能倾泻而出，照亮了整个国家……眼前这一

切，都是因为煤炭中有人类工业的三个必备因素：光、热、电。”阿林斯基通过气势磅礴的文字，揭示了煤炭是如何驱动那些强大的蒸汽机，进而为工业发展提供动力的。煤炭是钢铁制造的关键因素，既是燃料也是催化剂。此外，煤炭还被用于美国铁路业和家庭供暖。

当然，煤炭是用来发电的，但“煤炭王”的美誉不能完全归功于煤炭在电力行业的应用。1920年，煤炭的能源消耗份额达到顶峰，但只有7.3%的煤炭流向了电力公司。然而，随着煤炭业务失去了广泛的客户群，它越来越依赖于电力市场。1955年，发电用煤在煤炭中所占的比例已经上升至32%。2015年，电力行业成为主要煤炭用户，美国有93%的煤炭都用于发电。虽然电力行业对煤炭行业的重要性不言而喻，但煤炭截至目前一直是电力业务中的一个比较重要的因素。1950年，煤电在美国电能总产量中占46%。即使在2015年，煤电也占美国所有发电量的33%。

因此，电的历史与煤的历史紧密地交织在一起，讨论其中一个，必然涉及另外一个。煤炭直接推动了美国工业和军事的崛起。后来，尽管大部分煤炭并非直接销售，但是煤炭仍在间接地推动着美国的崛起，成为电力生产的首选燃料。煤炭之所以受到青睐，与电力行业实行的成本加成定价法有关。

要研究电和煤纠缠不清的历史，就不可避免地谈到煤炭行业中备受媒体关注的暴力和劳工骚乱等现象，以及一位著名（或臭名昭著）的劳工领袖——富有传奇色彩的约翰·刘易斯（John Lewis）。

煤炭王的加冕

煤炭引发工业革命

商业历史学家阿尔弗雷德·钱德勒（Alfred Chandler）通过一个有趣的问题，阐明了煤炭是如何改变美国人的生活的。他提出这个问题的前提条件是，大多数历史学家一致认为，工厂与工厂中的劳动分工对早期工业化至关重要；而且，18世纪晚期的英国有许多工厂。在此基础上，钱德勒提出了他的问题：为什么直到19世纪40年代，美国各地才出现了大量的工厂呢？钱德勒说，我们可以在宾夕法尼亚州的匹兹堡找到线索。匹兹堡与美国其他地方的情况不同，原因在于它有足够的煤炭储备来满足家庭和商业的需要。因此，匹兹堡的制造商可以利用这种廉价的蒸汽动力来源，以较低的成本制造钢铁，而钢铁是工厂数量激增的必备条件。注

随着时间的推移，煤炭供应商最终将这两种资源——廉价的蒸汽和廉价的钢铁，送到了美国东北部的其他大城市。在煤炭引发美国的早期工业革命之后，工厂数量迅速增加，金属制品厂开始生产“铲子、锯子、镰刀、火炉、壶、锅、铁丝、犁”等家庭必需品以及农业和其他行业所需的产品。随后，工业革命向其他行业蔓延，比如玻璃、造纸、木材和皮革制造等行业。这场革命的效果惊人，以至于英国人一反常态，来学习美国的制造技术。注

用数字说话

到1850年，煤炭业务已经完全实现商业化，随后煤炭生产迎来了两个快速增长期。1850—1885年是美国煤炭生产的第一个快速增长期，煤炭产量从1850年的840万吨增长到1885年的1.1亿吨，在35年时间里增加了12倍。第二个快速增长期从1885年持续至第一次世界大战结束后的1920年，其间煤炭产量增加了5倍，达到6.78亿吨。注

人们以曾经担任未来资源研究所的能源与矿产资源项目负责人山姆·舒尔（Sam Schurr）及其同事的研究为基础，巧妙地把煤炭产量快速增长的可能原因归结为“钢铁—铁路—蒸汽的相互依赖性”。焦

炭的成分几乎全部是碳，是通过对煤炭高温加热、去除杂质的方式得到的。焦炭和铁矿石在高炉中混合，就会生产出熔融铁，也就是生铁。生铁是制造各种钢铁产品的主要原料。很早以前，铁路就开始使用由生铁制成的铁轨。后来，利用生铁制造低成本钢材的贝塞麦法得到广泛应用，为由烟煤制成的焦炭开辟了新市场。然而，铁路在煤炭崛起的过程中发挥了更为重要的作用，因为动力机车需要的蒸汽就是用煤炭生产出来的。(注)

1850年，煤炭在能源市场中仅占9%的份额，木材是占主导地位的燃料，市场份额高达91%。1885年，煤炭的份额增加到50%，木材的份额下降到47%，余下的份额属于石油和天然气。1920年，煤炭占据了主导地位，份额达到75%，而木材的份额下降至7%，石油、天然气和水电则合占余下的份额。(注)

风光不再

令人惊讶的是，煤炭王的加冕也标志着煤炭的竞争力开始走下坡路。1918年，美国的煤炭生产在第一次世界大战期间达到巅峰，年产量为6.78亿吨。随着大萧条的到来，煤炭产量开始下滑。在第二次世界大战期间，煤炭生产恢复增长，并于1944年达到峰值，产量为6.83亿吨，略高于之前的6.78亿吨。“二战”结束后，美国的煤炭产量在一段时间里没有发生变化，原因之一是一部分煤炭被出口到饱经战火摧残的欧洲。然而，到了20世纪50年代中期，煤炭产量再一次下降。(注)

这次产量下降在很大程度上要归因于竞争格局发生了重大变化。铁路对煤炭的需求急剧下降，从1920年的1.35亿吨锐减至1955年的1500万吨。舒尔认为，煤炭的衰落是“石油入侵铁路燃料市场的直接结果”。事实上，石油和煤炭的份额呈现出正好相反的变化趋势：

1920年，煤炭在能源消耗量中所占的份额为75%，而石油和天然气的份额只有15%；但到1955年，煤炭的份额下降至32%，而石油和天然气的份额则上升至62%。注

另外一个原因是煤炭的使用效率大大提高。随着时间的推移和技术的进步，每吨煤所做的有用功越来越多。舒尔指出："30年前，蒸汽锅炉至少要燃烧5磅煤，才能做1马力时注的机械功，而现代内燃机只需要1磅煤就可以做同样多的功。"在煤炭使用效率有了稳定、实质性提高的同时，电力公司成为煤炭业最重要的用户。舒尔说，1900年燃烧7磅煤才能生产1千瓦时的电，但到了1950年，只需用1.19磅煤就可以生产同样多的电。尽管如此，电力公司煤炭使用量的快速增长，还是在一定程度上弥补了煤炭业在铁路等重要客户那里遭遇的损失。电力公司的煤炭使用量从1920年的3700万吨上升到1955年的1.41亿吨。注

两个煤炭产量的峰值年份（1918年和1947年）遥相呼应，数量彼此相当，似乎告诉我们煤炭生产的增速被美国的增长速度远远甩在后面。同一时期，美国人口增长了31%，国民生产总值增长了130%，制造业增长了225%。注

煤炭之剧：文化与政治

虽然这些数字对于我们了解整个过程来说必不可少，但它们反映的内容并不全面。具体来讲，这些数字无法反映文化和政治方面的内容，而这些恰恰是这台大戏的主要情节，20世纪上半叶关于煤炭的重大新闻大多与它们有关。要了解这方面的内容，最好结合约翰·刘易斯的成长环境加以讨论，因为正是这位美国矿工工会主席，在一个重要的全国性舞台上领衔演出了这台大戏。1949年，索尔·阿林斯基在

未经授权的情况下出版了一本刘易斯的传记。它是一份关于刘易斯生平和所处时代的宝贵资料，当时被广泛传读，现在却鲜为人知。注

第1幕：死神从不休假

在煤矿工人文化这个话题上，阿林斯基表现得无比直率。他认为，矿工“对于我们国家的绝大多数人来说都非常神秘”。矿工“对外面的世界有着近乎憎恨的感情”，以及“在死亡事故频发的地下环境中工作的人特有的冷漠”。有人认为，刘易斯和他的矿工们对任何人的评论都漠不关心，原因就在这里。阿林斯基通过对矿工日常生活的生动描述，清楚地表达了他对矿工文化的看法。他描写了矿工的早餐，并拿城市工人的早餐与之对比。他说，对于大多数人而言，“早饭都是程式化的烤面包和咖啡”。与此形成鲜明对比的是，“矿工的早餐可能是炸鸡或火腿，加上土豆、烤饼、饼干，还有一杯接一杯的热气腾腾的咖啡；或者就像他们说的那样，都是一些‘能够填饱肚子的东西’”。矿工们只有吃下大量食物，才有力气完成那些令他们身心俱疲的工作。注

阿林斯基还详细描述了矿工们每天面对的困难和危险。矿工们要在地下穿行几英里，才能到达采煤工作面。煤层通常位于上下岩石层中间，需要先用截煤机把煤挖出来。再用炸药把煤炸成碎块，然后用人工或机器把这些碎块装进轨道车，运到地面。阿林斯基把采矿过程概括为“截煤机的轰隆声，钻头的呼啸声，炸药的爆炸声，煤层的崩塌声，以及轨道车的咔嗒声”。塌方和爆破不当导致矿工伤亡，煤矿安全与健康管理局报告说，1910—1945年的35年里，有68835名矿工死亡，200多万名矿工受伤。注

无论过去还是现在，我们在使用煤电时，都不应该忘记人类为此投入的生命成本。在后文讨论燃煤发电的环境影响时，这个观点同样适用。

第2幕：勒德洛大屠杀

遗憾的是，煤的历史中免不了谈及屠杀。一个典型的例子就是臭名昭著的1914年科罗拉多勒德洛大屠杀，小说家、历史学家华莱士·斯特格纳（Wallace Stegner）称其为“美国劳工史上最凄凉、最黑暗的一幕”。1913年9月，洛克菲勒家族控制的科罗拉多燃料与钢铁公司的矿工们举行罢工活动，抗议低工资和恶劣的工作条件。罢工的矿工们被赶出住所，不得不搭建帐篷作为临时住所。刚开始一切都很平静，但之后国民警卫队被调集过来，试图镇压罢工。1914年春天，罢工者和国民警卫队之间爆发了冲突。注

同年4月，国民警卫队以讨论休战问题为由，诱骗劳工领袖路易斯·蒂卡斯（Louis Tikas）走出帐篷。一名目击者称，蒂卡斯走出帐篷后，“一个军官突然拿起步枪，用枪托把蒂卡斯打趴在地上。之后那些军人后退几步，端起枪朝昏迷的蒂卡斯射击。这是我第一次亲眼看见谋杀，赤裸裸的谋杀”。国民警卫队并没有就此罢休，目击者说，“军人们架起机关枪，开始了大屠杀。子弹像潮水一样”扑向矿工们的宿营地，最后军人们还烧了帐篷。共有66人在这次大屠杀中丧生，20世纪企业主和罢工工人之间充满血腥味的斗争由此拉开序幕。最终，冲突蔓延至美国总统的办公桌，约翰·刘易斯和富兰克林·罗斯福摆开架势，准备就如何处理这场可能会破坏美国在第二次世界大战中取得的战果的罢工展开斗争。注

第3幕：矿工联合会成立

由于矿工和矿主之间的关系一直非常紧张，工会组织的建立似乎势不可当。然而，工会和工会领袖并没有因此轻松拥有掌控权。1890年，两家劳工组织在俄亥俄州哥伦布市合并组建了美国矿工联合会（UMW）。随后，该组织加入了美国劳工联合会（AFL）下属的美国同业工会。矿工联合会的成员难以领导，也不容易取悦，就连矿工联合

会主席、该组织的创始人之一、被视为劳工“守护神”的约翰·米切尔（John Mitchell），也于1908年遭到工人们的排挤。矿工联合会需要一个强有力的领导者，约翰·刘易斯是一个合适的人选。1920年，刘易斯当选矿工联合会主席，在接下来的40年里把这个组织牢牢地控制在自己手中。㊟

刘易斯在采矿行业有着坚实的根基。他的父亲托马斯是19世纪70年代移民到美国的一名威尔士矿工，托马斯·刘易斯在艾奥瓦定居后，加入了美国劳工骑士团。据刘易斯家族的说法，过了很长一段时间，托马斯领导了反抗煤矿公司的第一次罢工活动，而且取得了胜利。他付出的代价是被那些公司列入黑名单，无法找到工作。当时，他有8个孩子，家庭生活十分困难。约翰·刘易斯因此失去了接受中学教育的机会，他15岁开始在矿井工作，心中充满了对矿主的仇恨。㊟

第4幕：产能过剩，矛盾激化

20世纪20年代末30年代初，刘易斯开始领导美国矿工联合会。当时，美国煤炭行业正处于动荡和混乱之中。1935年，《耶鲁法律期刊》（*Yale Law Journal*）撰文指出美国煤炭行业处于“长期的无序状态”。事实的确如此，尽管该杂志也评价美国在煤炭方面拥有巨大优势。1929年，美国的煤炭产量占全世界的40%，美国境内的煤炭储量约占全球的一半。《耶鲁法律期刊》说，核心问题是产能过剩，即煤炭的生产能力持续超过煤炭的需求量。该杂志列出了造成产能过剩的各种原因，包括季节性需求、对长距离煤炭运输的铁路补贴以及煤矿工人生产力的提高。㊟

该杂志还指出，在接下来的几年里，过剩产能会保持在40%~50%的水平。同样重要的是，为了弥补产能过剩造成的煤炭价格下降，矿主把削减矿工工资作为主要的对策。这导致了工会罢工和非工会罢工的

发生。1919年和1922年的罢工造成煤炭短缺，工会输掉了赌局。受此影响，截至1930年有80%的煤矿没有工会组织，比例增长了三倍。(注)

第5幕：通用汽车工人大罢工

大萧条彻底改变了美国矿工联合会的前景，其主要原因是一些保护劳工权利的法案获批通过。比如，《诺里斯—拉瓜迪亚法案》极大地限制了使用法庭禁令来打击罢工活动的做法，并规定公司不得要求员工签署禁止他们加入工会的合同。存在时间较短的《国家复兴法》，在1935年被确认违宪之前对工会组织也起到了帮助作用。《国家复兴法》第7条规定："员工有通过自己选择的代表进行结社和集体谈判的权利……雇主应当遵守最长劳动时间、最低工资标准和其他就业条件。"1933年，在第7条以法律形式出现之后，矿工联合会的会员人数在短短两年时间里，就从75000人激增至超过50万人。(注)

尽管在刘易斯的一生中，矿工联合会一直是他的首要关注对象，但他也为美国各地的工会组织制订了宏大的计划。1921年，刘易斯向塞缪尔·龚帕斯（Samuel Gompers）发起挑战，竞选美国劳工联合会主席。龚帕斯是美国劳工联合会的第一任主席，也是任期最长的主席。在他的领导下，劳工联合会成为世界上最大的劳工组织，1924年有300万名成员。

刘易斯在选举中落败，他只获得了1/3的选票。于是，他开始批评20世纪30年代以来的美国劳工联合会，并带领矿工联合会退出了美国劳工联合会。刘易斯致力于创建一个名为"产业工会联合会"（CIO）的全国工会组织，以对抗美国劳工联合会。通过产业工会联合会，刘易斯实施了一个戏剧性的行动——领导通用汽车工人罢工。通用汽车是底特律汽车工业的一部分，一直被视为"人类已知的最了不起的工业力量"。通用汽车的工人罢工凸显了刘易斯的社会影响力。它也表

明，除了煤炭行业以外，劳资之间的战争还有多条战线，刘易斯的强大战术和个人魅力在每条战线上都有巨大的影响力。注

通用汽车工人罢工的结果具体取决于密歇根州州长弗兰克·墨菲（Frank Murphy）是否会动用国民警卫队来驱逐罢工工人。墨菲告诉刘易斯，他将给国民警卫队打电话，因为他有责任维护法律。刘易斯回应道，如果墨菲动用国民警卫队去驱逐罢工工人，就会背叛全体工人。他还提醒墨菲别忘了他们家在爱尔兰的悲惨遭遇。刘易斯问墨菲，在他的父亲被英国人监禁，他的爱尔兰裔祖父被绞死时，墨菲是否会选择"维护法律"。经过这番谈话，墨菲没有动用军队驱逐罢工工人。在通用汽车与美国汽车工人联合会签署了一份合同之后，持续了40多天的工人静坐罢工宣告结束。注

第6幕：刘易斯与罗斯福的斗争

在1936年的总统大选中，刘易斯把押在富兰克林·罗斯福身上的赌注增加了一倍，矿工联合会赞助给罗斯福的竞选资金超过50万美元。然而，在罗斯福执政初期，矛盾就开始滋生了。在刘易斯看来，劳工们为罗斯福付出的金钱或选票没有获得任何回报。在通用汽车工人罢工期间，罗斯福指示墨菲："无论刘易斯说什么，都不要听！"从此以后，刘易斯与罗斯福之间就出现了裂痕。刘易斯扬言，在1940年的大选中，他将支持共和党总统候选人温德尔·威尔基，就是曾与戴维·利连索尔斗争过的那个温德尔·威尔基。刘易斯在一次重要的演讲中说，罗斯福"意味着战争！战争！战争！"，还说罗斯福正在努力地实行"政治独裁"。最后，刘易斯威胁道，如果产业工会联合会的成员选择继续支持罗斯福，他就会辞职。他说："要么支持我，要么拒绝我。"当然，罗斯福连任成功，刘易斯也兑现了自己的承诺，辞去了产业工会联合会主席的职务。注

辞职后，刘易斯回到矿工联合会。他说："只要美国的煤矿工人需要约翰·刘易斯做出贡献，就可以第一时间给他打电话，因为他们有优先权。"刘易斯瞄准的第一个目标就是那些被垄断的煤矿，它们的经营者都是像钢铁厂这样的大型煤炭用户。被垄断的煤矿一共雇用了5.3万名矿工，其中95%的人已经加入了工会组织。尽管如此，刘易斯还是想把这一比例提高到100%。1941年，为了达到这个目的，刘易斯发动了一次罢工。罗斯福总统明确表示反对，并声称他反对的是"工业巨头中危险的少数人""少数危险的劳工领袖"。1941年12月7日，刘易斯在这次抢夺矿井控制权的运动中获胜。然而这一天对美国人而言是一个无比耻辱的日子，就在这一天日本人袭击了珍珠港。注

战争经济为刘易斯发动下一次罢工创造了条件。他手下的矿工们面临工资不高的问题，但是，由于战时商品短缺，商品价格不断上涨。刘易斯认为，矿工们一直在为填饱肚子而努力，但自1939年以来，食品价格上涨了125%。有一次，刘易斯发起了猛烈的抨击，称当前的工资水平是"不达标的饥饿工资"，矿工的孩子们"为面包而哭泣"。刘易斯和罗斯福之间的关系再次变得紧张。1943年4月，刘易斯威胁说，如果在5月1日之前不涨工资，他领导的45万名矿工将一起罢工。令人震惊的是，1943年5月1日，正值"二战"的关键时期，45万矿工无视罗斯福总统的反对举行了罢工活动。但他们没有得到大众的支持，刘易斯也因此成为人民公敌。电影院放映关于罢工的新闻短片时，观众们嘘声一片。中学生守在刘易斯位于弗吉尼亚州亚历山大市的家门口表示抗议，还打出了"希特勒的帮凶"之类的标语。还有人画了一幅刘易斯"拿着刀从背后捅一名美国士兵"的政治漫画。美国军方的《星条旗报》（*Stars and Stripes*）说："我们代表美国士兵谴责你！约翰·刘易斯，你的灵魂像煤炭一样黑！"注

5月2日，罗斯福总统在广播中发表了一期"炉边谈话"，主题是"谈煤炭危机"。他恳请矿工们为了美国获取"二战"胜利而重返工作岗位。他直截了当地告诉罢工的矿工们："每名消极怠工的矿工，

不管他的动机有多真诚，不管他认为自己发泄不满的方式有多合法，他的个人行为都在直接影响美国的作战努力。停止煤炭供应，哪怕只是很短的时间，都会把美国士兵的生命和美国国民未来的安全置于危险境地。”然后，他跟矿工们谈起了他们的儿子。他说，宾夕法尼亚州、肯塔基州和伊利诺伊州都有矿工把自己的儿子送到部队服役，因此他恳请“矿工们要有基本的爱国之心”。罗斯福明确表示，三大劳工组织（美国劳工联合会、产业工会联合会和铁路工人兄弟会）都做出过不举行罢工活动的保证，矿工联合会也是“其中一员”。1943年6月23日，罢工活动停止，政府也解除了对矿山的控制。(注)

但是，罢工浪潮还没有结束。1945年4月12日，罗斯福总统去世。1945年5月1日，刘易斯又发动了一次罢工。1946年3月，刘易斯再次发动罢工。由于煤炭短缺，铁路公司解雇了51000名工人，拥有11万名员工的福特公司也进入停产状态。刘易斯并没有被强大的政治家驯服，但在这些罢工活动之后，技术的进步和政治重心的转移却让他开始表现出合作的意愿。(注)

煤炭行业的重大变化

20世纪50年代到21世纪初的行业统计数据表明煤炭行业发生了重大变化，这些变化使刘易斯和产业工会联合会的影响力被削弱。比如，地下开采煤炭所占比例正在下降。1950年，美国有75%的煤炭来自地下开采。到2010年，这一比例降至31%。与地下开采不同的另一种方式是需要矿工人数较少的露天开采。如果2010年只有31%的煤炭来自地下开采，那么显而易见，有69%的煤炭露天开采。这意味着采矿地点在向美国西部偏移。1950年，密西西比河以东的煤矿产出了94%的煤炭；而2010年，这一比例降至41%。也就是说，2010年，西部产出的煤炭占

煤炭总产量的59%。西部煤矿大多位于怀俄明州，仅这一个州的煤炭产量就占美国总产量的40%。注

随着煤炭开采向露天采矿和美国西部地区转移，劳动生产率也在稳步上升。即使在发生这种转变之前的1950年，露天采矿的效率也几乎是地下采矿的近三倍。2010年，在地下矿井工作的矿工平均每小时采煤2.89吨，而在露天煤矿中，每名矿工每小时的采煤量为9.46吨。在美国西部的露天煤矿，一个矿工每小时可以采煤20多吨。这使得对矿工人数的需求不断减少。1920年，矿工就业人数为784621人；到1950年，这个数字降至483239人；到2010年，这个数字又降至135500人。注

尽管煤炭业的就业人数不断下降，但是煤炭使用量和煤炭价格都出现了大幅增长。1950—2010年，美国的煤炭产量几乎翻番，从5.6亿吨增加到10.8亿吨。按名义价值计算，煤炭的平均价格以每年约3.26%的速度增长。与此同时，电力行业成为煤炭业的主要客户。1950年，发电用煤占煤炭消耗总量的19%；2010年，这个比例增加至93%。注

用“广角镜头”来观察这些数据的话，所有的变化就会一览无余。在州这个层次，美国的政治重心转移到了西部。上文说过，怀俄明州占美国煤炭总产量的40%，而西弗吉尼亚州仅占11%。煤炭开采向西部各州偏移，意味着需要用铁路运输煤炭，因此铁路运输成本就会像煤炭开采成本一样影响煤炭价格，进而影响电价。西部煤矿的含硫量远低于东部煤矿，燃烧时的二氧化硫排放量更低，因此受到环保主义者的青睐。最值得注意的是，矿工就业人数的下降削弱了煤炭企业及矿工联合会的政治影响力，这个趋势越来越明显。由于担心全球气候变化，环保主义者甚至要求关闭所有燃煤电厂。注

可悲的是，有一种情况没有改变。尽管煤炭开采作为一个行业取得了进步，但它的危险性仍然没有降低。2010年4月5日，梅西能源公

司在西弗吉尼亚州的煤矿发生爆炸，造成29人死亡。2016年，梅西能源公司的首席执行官唐·布兰肯西普（Don Blankenship）因违反联邦煤矿生产安全条例，被判入狱一年。注

当布兰肯西普离开法庭时，一名受害者的家属对他说：“你对孩子的想念，跟我们对孩子的想念是不一样的。”注

煤炭王留给世人的遗产

很明显，电的历史与煤的历史密不可分。所以，我们有必要了解电力行业和煤炭行业开始相互影响的时间和方式。在煤炭被加冕为王的早期，很难看出电与煤的亲密关系。1920年，煤炭在能源消耗总量中的占比提高至75%，这是因为煤炭拥有一个庞大的用户基础，即舒尔提出的钢铁—铁路—蒸汽的相互依赖性，钢铁业、铁路业和其他许多使用燃煤蒸汽机的工业都包含在内。与此同时，电力行业只起到了很小的作用，因为它只占煤炭使用量的7.3%。注

从市场份额来看，煤炭和电力行业之间的共生关系形成之时，煤炭行业正处于一个相对衰落的时期。煤炭在铁路行业受到石油的冲击，以及石油和天然气在其他领域成为煤炭的有力竞争对手，都是造成煤炭行业衰落的原因。但是，2015年，有93%的煤都被用于发电。而且，从20世纪50年代开始，煤炭在所有发电燃料中所占的比例常常高于40%，这种情况又是怎么发生的呢？为什么煤炭在电力市场上崛起，而在其他领域却在萎缩呢？为什么持续稳定发展的电力行业会与一种发展状况不太稳定的燃料纠缠在一起呢？注

答案是，双方都从对方那里得到了各自最想要的东西。在成本加成定价法的刺激下，电力公司希望投资资本密集型的大型发电厂，燃煤电厂恰恰是满足这个需求的典型代表。建造大型燃煤电厂的利润很

容易计算。煤炭发电与天然气发电相比，需要使用多得多的设备。如果将一个单位的煤转化为电力需要使用3000美元的设备，可能的投资回报率是10%，那么按照英萨尔的成本加成定价法，电力公司可以获得300美元的利润（3000美元的10%）。相反，如果1000美元的设备就可以将一个单位的天然气转化为电力，那么电力公司的利润就只有100美元。从利润的角度看，电力公司更愿意建造燃煤电厂。

经济调度的效用为建造燃煤电厂助了一臂动力。一旦发电厂建成，其设备成本就不再变动，这些成本被称为“固定成本”。所以，在确定发电厂的运行频率时，只需考虑燃料成本。由于历史上煤炭的成本低于其他燃料，所以可能的话，燃煤电厂可以24个小时不间断地运行。这意味着设备成本可以分摊到更多的电力上，从而降低煤炭发电的单位成本。就这样，成本加成定价法和经济调度共同选择了建造燃煤电厂。

然而，刘易斯领导的矿工必须让煤炭价格保持稳定。刘易斯和他的工会对煤炭价格产生的最重要的长期影响在于，他们没有阻止矿主使用新技术，也没有阻止煤矿的机械化开采。机械化意味着开采每座矿山需要的矿工人数越来越少，这反过来帮助矿主把煤价增速降到最低限度。与此同时，机械化意味着每名留下来的矿工都会产出越来越多的煤炭。因此，即使煤炭价格稳定，矿主也有更多的钱为每名工人支付更高的工资，提供更好的福利。

人们可能会认为，煤炭行业备受争议的历史（即使在战争时期，可怕的暴力冲突和罢工活动也没有间断）会对该行业产生不利影响，但这种情况最终并没有发生。不仅如此，这台大戏反而加速了新采矿技术（露天采矿）的发展，以及煤炭开采从东部向西部的转移。电力公司和政府监管部门肯定曾为此犹豫不决。然而，或许是因为煤炭价格稳定（以及储存大量煤炭以防止罢工活动），他们愿意承受新一轮罢工的威胁。另一个让人放心的因素是找到竞争性燃料的可能性。如

果另一种能源能够降低燃料成本和资本成本，煤炭就很容易被取代。我们将在后文中看到，天然气在页岩气革命的阵痛中把这种可能性变为现实。

至于刘易斯，他致力于战时罢工的行为给后人留下了一份好坏参半的遗产。1960年，刘易斯从矿工联合会主席任上退休，任期长达40年。1964年，约翰逊总统授予刘易斯总统自由勋章，这是美国平民可以获得的最高荣誉。1969年，刘易斯去世，索尔·阿林斯基认为必须理性地看待1943年他发起的那次罢工。阿林斯基说：“他对每一种权力的蔑视，都是为了保护民主思想不受侵犯，他发出的不谐和音是我们民族乐章的一部分。”[注]即使“二战”中的美国勇士及其家人不喜欢他，也情有可原。

刘易斯去世时，矿工联合会的成员们停止工作4天，以表示对他的敬意和哀悼。[注]

---

1. Saul D.Alinsky,John L.Lewis: An Unauthorized Biography (New York: Cornwall Press,1949),3.
2. Sinclair’s most famous novel was and still isThe Jungle (1906),which brought the dangerous practices of the meatpacking industry to light.
3. Sam H.Schurr and Bruce S.Netschert,Energy in the American Economy (Baltimore:Johns Hopkins University Press,1960),500.
4. Alinsky,John L.Lewis,3.
5. Schurr,Energy in the American Economy,76,500;“Monthly Energy Review,” Monthly Energy Review,Energy Information Administration,September 2016,98,109,accessed October 1,2016, <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/mer.pdf>.
6. Alfred D.Chandler Jr.,“Anthracite Coal and the Beginnings of the Industrial Revolution in the United States,” The Business History Review 46,no.2 (1972):141–42,145–46.

7. Chandler,“Anthracite Coal and the Beginnings of the Industrial Revolution in the United States,” 147－49.

8. Schurr,Energy in the American Economy,491－92,500.

9. Schurr,Energy in the American Economy,65－68,77.

10. Schurr,Energy in the American Economy,500.

11. Schurr,Energy in the American Economy,492－93.

12. Schurr,Energy in the American Economy,76－77,500.

13. 1马力时≈2647795.5焦耳。——编者注

14. Schurr,Energy in the American Economy,71,81－82.

15. Schurr,Energy in the American Economy,74.

16. See also Saul Alinsky,“John L: Something of a Man,”Nation,June 30,1969,accessed October 1,2016, <http://www.thenation.com/article/154512/john-l-something-man>.

17. Alinsky,John L.Lewis,4－5.

18. Alinsky,John L.Lewis,5－7;“Coal Fatalities for 1900 Through 2013,”United States Department of Labor,Mine Safety and Health Administration,accessed October 1,2016, <http://www.msha.gov/stats/centurystats/coalstats.asp>;Alinsky,John L.Lewis,7.

19. Wallace Stegner,foreword toBuried Unsung: Louis Tikas and the Ludlow Massacre,by Zeese Papanikolas (Lincoln: University of Nebraska Press,1991),xvii;Ben Mauk,“The Ludlow Massacre Still Matters,”New Yorker,April 18,2014,accessed October 1,2016, <http://www.newyorker.com/business/currency/the-ludlow-massacre-still-matters>.

20. “Eyewitness to Murder: Recounting the Ludlow Massacre,”History Matters,George Mason University,accessed October 1,2016, <http://historymatters.gmu.edu/d/5737/>;Mauk,“The Ludlow Massacre Still Matters.”

21. Alinksy,John L.Lewis,11－13.

22. Alinksy,John L.Lewis,14－16.

23. “The Bituminous Coal Conservation Act of 1935,”Yale Journal of Law 45,no.2(December 1935): 293－94.

24. “The Bituminous Coal Conservation Act of 1935,” 295–96.

25. “Basic Labor Laws (United States of America): The Norris-LaGuardia Act(1932),” Industrial Workers of the World,accessed October 1,2016, <http://www.iww.org/organize/laborlaw/Lynd/Lynd3.shtml>;Barbara Alexander,“The National Recovery Administration,” Economic History Association,EH.net,accessed October 1,2016, <http://eh.net/encyclopedia/the-national-recovery-administration-2/>;Daniel Schlozman,When Movements Anchor Parties: Electoral Alignments in American History (Princeton,NJ: Princeton University Press,2015),56;James Stuart Olson,Historical Dictionary of the Great Depression,1929–1940(Westport,CT: Greenwood Press,2001),174.

26. Alinsky,John L.Lewis,42,73,81–84,98.

27. Alinsky,John L.Lewis,111,143–46.

28. Alinsky,John L.Lewis,164,177,188–90,219–20.

29. Alinsky,John L.Lewis,224,238–39,241,247.

30. Alinsky,John L.Lewis,281,287,299–302.

31. Franklin D.Roosevelt,“Fireside Chat 24: On the Coal Crisis,” Miller Center:University of Virginia,May 2,1943,accessed October 1,2016,<http://millercenter.org/president/fdroosevelt/speeches/speech-3330>;“Coal Strike Is Called Off,” Chicago Daily Tribune,June 23,1943,accessed October 1,2016, <http://archives.chicagotribune.com/1943/06/23/page/1/article/coal-strike-is-called-off>.

32. Alinsky,John L.Lewis,327,329.

33. “Annual Energy Review,” Energy Information Administration,2011,accessed October 1,2016, <http://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/>;“Which States Produce the Most Coal?” Energy Information Administration,updated April 4,2016,accessed October 1,2016,<https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=69&t=2>.

34. “Annual Energy Review,” table 7.7,table 7.2;“Coal Fatalities for 1900 Through 2015,” United States Department of Labor,accessed October 1,2016,<http://arlweb.msha.gov/stats/centurystats/coalstats.asp>.

35. “Annual Energy Review,” table 7.2,table 7.9,table 7.3.

36. “Which States Produce the Most Coal?”;Timothy Cama, “Sierra Club Targets Half of US Coal-Fired plants,” Hill,April 18,2015,accessed October 1,2016,<http://thehill.com/policy/energy-environment/238191-sierra-club-targets-half-of-us-coal-plants>.

37. “Upper Big Branch Mine Disaster Investigative Report Summary,” West Virginia Office of Miners’ Health,Safety an d Traini,accessed October 1,2016, <http://www.wvminesafety.org/PDFs/Performance/EXECUTIVE%20 SUMMARY.pdf>;Alan Blinder, “Mixed Verdict for Donald Blankenship,Ex-Chief of Massey Energy,After Coal Mine Blast,” New York Times,December 3,2015,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2015/12/04/us/donald-blankenship-massey-energy-upper-big-branch-mine.html>;Alan Blinder, “Donald Blankenship Sentenced to a Year in Prison in Mine Safety Case,” New York Times,April 6,2016,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2016/04/07/us/donald-blankenship-sentenced-to-a-year-in-prison-in-mine-safety-case.html?_r=0>.

38. Blinder, “Donald Blankenship Sentenced to a Year in Prison in Mine Safety Case.”

39. Schurr,Energy in the American Economy,76,500.

40. “Monthly Energy Review: Table 6.2 Coal Consumption by Sector,” Monthly Energy Review,Energy Information Administration,September 2016,98,accessed October 1,2016, <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/mer.pdf>.

41. Lyndon B.Johnson, “Remarks at the Presentation of the 1964 Presidential Medal of Freedom Awards,” The American Presidency Project,September 14,1964,accessed October 1,2016, <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=26496>;Alinksy,John L.Lewis,372.

42. Melvyn Dubofsky and Warren Van Tine,John L.Lewis: A Biography (Urbana:University of Illinois Press,1986),377.

第12章　爱因斯坦的质能方程

根据相对论，质量和能量之间没有本质上的区别。能量具有质量，而质量是能量的表现。相对论中并没有两个守恒定律，而是只有一个，那就是质能守恒定律。

——阿尔伯特·爱因斯坦（1938）[注]

和托马斯·爱迪生一样，阿尔伯特·爱因斯坦也是一个家喻户晓的名字。爱迪生已经成为发明创造的代名词，爱因斯坦则成为天才的别称。爱因斯坦在普林斯顿大学的办公室墙上挂有4幅肖像，从中可以看出哪些人对他产生过影响。画像中的4个人分别是艾萨克·牛顿、迈克尔·法拉第、詹姆斯·麦克斯韦和圣雄甘地。爱因斯坦的科学成就是牛顿万有引力研究、法拉第和麦克斯韦电磁学研究的最终成果。就像甘地一样，爱因斯坦也是一个和平主义者，尽管他的科学研究和核武器之间有着剪不断的联系。[注]

1905年（所有科学家都把这一年称作爱因斯坦的“奇迹年”），爱因斯坦的5篇技术论文使物理学发生了革命性的巨变。在完成这些革命性论文时，爱因斯坦年仅26岁，是瑞士伯尔尼联邦专利局的一名工作人员，而不是欧洲著名大学的教授。他的论文告诉世人，法拉第和麦克斯韦的伟大研究搭建了一个宏伟的科学框架，而被全世界认可了200多年的牛顿物理学只是这个框架中的一个特例。[注]

在第五篇论文中，爱因斯坦提出了著名的质能方程：$E=mc^2$。这个方程的意义在于，少量物质，比如少量的铀燃料，可以转化成巨大的能量，因为在转换过程中，质量会被一个等于光速平方的因子放大。

正是依据这个方程，欧洲科学家断定核反应释放出的能量可以用于战争目的。注

爱因斯坦的方程也将他与现代电力行业联系起来。如果少量物质可以通过核反应释放出大量能量，那么这些能量也可以用于和平目的，比如发电。爱因斯坦再一次证明，发电技术（对于爱因斯坦的研究而言，就是核电站）与这个时代最先进的科学有着不可分割的联系。

然而，电力与先进科学之间的联系，远远超越了核能技术。在19世纪和20世纪的伟大科学进步中，从牛顿力学到法拉第的电磁感应定律，到麦克斯韦的电磁场理论，再到爱因斯坦的相对论和量子理论，电学研究都发挥了重要且持久的作用。正如爱因斯坦说的那样，电学研究不仅是通往科学突破道路上的一个事件，而且本身就是一条道路。本章的大部分篇幅描述的都是爱因斯坦和其他伟大的科学家沿着这条道路行进的历程。

早年生活

1879年3月14日，阿尔伯特·爱因斯坦生于德国乌尔姆市。该市的格言颇有先见之明："乌尔姆人都是数学家。"正如沃尔特·艾萨克森在2007年写作的爱因斯坦的传记中说的那样，爱因斯坦很小的时候，年轻的医科学生马克斯·塔穆德（Max Talmud）就鼓励他从事科学研究。塔穆德每周都和爱因斯坦一家人一起吃饭，在他的推荐下，爱因斯坦阅读了当代科普作家阿伦·伯恩斯坦（Aaron Bernstein）的一系列科学书籍，并且留下了非常深刻的印象。在伯恩斯坦讲述的诸多故事当中，有一个对爱因斯坦影响很大。这个故事让读者想象自己正坐在一列高速行驶的火车上，然后有一颗子弹从窗户射了进来。后来，爱因斯坦做了一个与伯恩斯坦的这个故事类似的思想实验。注

13岁那年，爱因斯坦的科学知识水平超过了塔穆德。从此以后，塔穆德开始引导爱因斯坦学习哲学，并且通过《纯粹理性批判》（*Critique of Pure Reason*），让爱因斯坦第一次接触到伊曼纽尔·康德。爱因斯坦在后来写给普通民众的作品中常常表现出哲学方面的天赋，可能与他早年阅读康德作品的经历有关。人们对爱因斯坦是否受到法拉第的影响意见不一，同样，关于爱因斯坦的革命性科学研究是否受到康德作品的影响，人们也有不同的看法。爱因斯坦寻找力的统一和科学的统一，是否受到康德的自然目的论的影响呢？还是麦克斯韦因受法拉第的启发，将电、磁和光统一起来的做法，给了爱因斯坦动力呢？最有趣的推测是，康德哲学对爱因斯坦的影响，与宗教信仰对法拉第的影响一样，让他们形成了相同的观点——力的统一。注

爱因斯坦努力准备了两年左右的时间，希望可以进入苏黎世联邦理工学院学习。他可以轻松地通过数学和科学考试，但没把握通过文学和法语等其他学科的考试。1896年，爱因斯坦终于考取了这所学校，但他一开始并没有给任何人留下深刻印象。学习数学时，他不是很刻苦，一位教授因此称他为“懒蛋”。爱因斯坦希望深入了解麦克斯韦的研究，但是学校教授的所有课程都没有涉及这方面的内容。因为经常与马塞尔·格罗斯曼（Marcel Grossmann，爱因斯坦的同班同学，后来成为他一生的好朋友）以及其他几个同学结伴逃课，反而通过阅读了解到物理学研究的最新进展。1900年，爱因斯坦大学毕业，在5名毕业生中排名第四。注

21岁时，爱因斯坦尚未取得非凡的成就，也看不出有任何天赋。然而，他一直在做科学研究，并开始发表论文。他发表的第一篇论文与原子和分子的相互作用有关。他探讨了液体分子间的吸引力到底是什么力这个问题，并提出了分子间的吸引力是否与宇宙中行星间的吸引力相类似（也就是说，像牛顿物理学认为的那样，这种力与质量直接相关，并与距离成反比）的问题。1901年，爱因斯坦向苏黎世大学

提交了他的论文，但遭到了拒绝。总之，爱因斯坦的早期学术生涯对他后来的声名鹊起几乎没有任何预示作用。注

时间表

1902年，马塞尔·格罗斯曼帮助爱因斯坦在瑞士伯尔尼联邦专利局找到一份工作。爱因斯坦每天上班8个小时，但他很快就能完成本职工作，把剩下的时间用于科学研究。每天，他还要花一个小时的时间去做家庭教师，晚上继续做科学研究。艾萨克森认为，尽管这个时间表对于试图进行科学突破的人来说似乎是一个不利因素，但它也有一个巨大的优势——使爱因斯坦不会受到传统的影响。如果爱因斯坦当时身处一个学术环境之中，他发表的成果就必须接受审查。然后，那些秉持传统智慧的人可能会提出修改意见，或者是予以否定。注

爱因斯坦和他的朋友们阅读了大量科学哲学方面的著作，并进行了深入思考，比如大卫·休谟的《人性论》（*A Treatise of Human Nature*）和巴鲁赫·斯宾诺莎的《伦理学》（*Ethics*）。

1905：奇迹年

2005年，马修·查默斯（Matthew Chalmers）在《物理世界》（*Physics World*）新闻杂志上发表了一篇文章，题为“震惊世界的5篇论文”。文章说，1905年，也就是一个世纪之前，爱因斯坦在“8个多月”的时间里，利用“业余时间”，“完成了永久性改变世界的5篇论文”。因此，1905年被视为爱因斯坦的“奇迹年”。研究中使用资料的涉及面非常宽泛，他的论文跨越了“三个截然不同的主题——相对论、光电效应和布朗运动”。查默斯补充道，“也许更引人注目的

是，爱因斯坦1905年发表的论文既不是基于确凿的实验证据，也没有复杂的数学推理。他仅凭物理直觉，就给出了优雅简练的论证和结论。”查默斯引用1999年诺贝尔物理学奖得主杰拉德·特·胡夫特（Gerard’t Hooft）的话说，“爱因斯坦让世界第一次意识到，仅凭纯粹的思想就可以改变我们对自然的理解。”注

1905年3月17日，这5篇论文中的第一篇——《关于光的产生和转化的一个试探性观点》，被提交给著名的德文期刊《物理学年鉴》（*Annalen der Physik*）。这篇论文反映了爱因斯坦对光电效应的贡献，并被视为他获得1921年诺贝尔物理学奖的基础。光冲击金属薄片的一个侧面，就会产生光电效应，使电子从另一侧面发射出去。因此，光电效应能将光转化为电——一束电子流。这种效应被应用于一系列的技术，包括警报器中的光探测器。该装置发出一束稳定的光照射到一个表面上，以产生电流。如果有入侵者挡住了那束光，电流就会减弱，进而触发警报。对于电力行业来说，更重要的是利用光伏电池或太阳能电池将光转化成电。注

爱因斯坦的第二篇论文是在他的苏黎世大学学位论文的基础上撰写的。1905年4月30日，苏黎世大学终于通过了他的学位论文。第二篇论文解决了若干问题，包括如何“通过分子在溶液中的运动来计算它们的大小”。接着，爱因斯坦提交了第三篇论文。这篇论文研究的是布朗运动，即悬浮在静止液体中的粒子运动。爱因斯坦认为，布朗运动是原子随机碰撞导致的。这项研究的广泛意义在于，一旦经实验证实，就可以让科学家们确信原子是真实存在的。注

6月30日，杂志社收到了爱因斯坦的第四篇论文——《关于运动物体的电动力学》。这篇论文详细描述了爱因斯坦的狭义相对论，注之所以使用“狭义”这个词，是因为他的这套理论“只适用于匀加速参考系”。该理论暗示，独立的时间和独立的距离均不存在。正如查默

斯所言："当物体做匀速运动时，物体的长度会变短，所以运动的时钟比静止的时钟走时慢。"[注]

第五篇论文《物体的惯性与其所含的能量有关吗？》是一个三页纸篇幅的"补充想法"，引出了狭义相对论的另一个启示。爱因斯坦最著名的方程式$E=mc^2$就来源于这篇文章。[注]

世界对爱因斯坦在他的奇迹年中取得的成果有何反应呢？艾萨克森说，这5篇被现代人视为奇迹的文章刚发表时，迎接它们的都是"冷冰冰的漠视"。只有德国科学家马克斯•普朗克例外，他把爱因斯坦的狭义相对论应用于自己的研究。值得注意的是，尽管爱因斯坦在1905年取得了丰硕的研究成果，但他仍在伯尔尼联邦专利局工作。即使在1905年之后，爱因斯坦也无法在伯尔尼大学找到哪怕是最一般的工作。1908年，他甚至想应聘中学教师职位都遭到拒绝。爱因斯坦的经历表明，通向科学突破的道路是漫长又艰难的，推翻根深蒂固的范式需要时间，耐心和对科学的执着至关重要。[注]

不过，1909年，在他的革命性论文发表4年后，爱因斯坦在苏黎世大学获得了一个初级教授的职位。同年，他在萨尔茨堡的一次会议上发表演讲，将光的微粒说与波动说这两个相互矛盾的理论融合在一起，从而赢得科学界的认可。从爱因斯坦此后参加的科学界的活动可以看出，他的名声正在蹿升。1911年，爱因斯坦被布拉格大学聘为教授。与他交往的都是像恩斯特•马赫（Ernst Mach）、亨德里克•洛伦兹这样顶尖的科学家。马赫是一位研究超声速运动的奥地利物理学家，今天，他的名字被用来表示声速。爱因斯坦称，他是受到马赫的启发才建立了相对论。洛伦兹是一位荷兰物理学家和1902年的诺贝尔物理学奖得主，主要从事麦克斯韦理论的延伸研究。

1915年，爱因斯坦对他在1905年提出的狭义相对论进行了推广。1919年，随着第一次世界大战的结束，一个检验爱因斯坦依据相对论

做出的预言（即重力会导致光发生弯曲）是否正确的机会出现了。剑桥大学天文台台长亚瑟·爱丁顿（Arthur Eddington）担起此项重任，开始密切观察1919年5月29日发生的日食。研究结果表明，爱因斯坦的预测是正确的，英国天文学家弗兰克·戴森（Frank Dyson）爵士随后证实了他们的研究。在第一个证据出现之后的6年里，有600多人著书立说讨论相对论，40岁的爱因斯坦成为国际知名人士。(注)

1921年，爱因斯坦第一次来到美国。从那以后，美国媒体开始习惯性地询问受访者是否理解狭义相对论。时任世界犹太复国主义组织主席的哈伊姆·魏茨曼（Chaim Weizmann）曾与爱因斯坦一同乘坐远洋客轮出行，当媒体问他是否理解这一理论时，他开玩笑说，“在旅途中，爱因斯坦每天都向我讲解他的理论。船靠岸时，我终于相信他是真的理解这套理论”。(注)

1930—1931年，爱因斯坦第二次来到美国。1933年，希特勒当选德国总理。纳粹分子查抄了爱因斯坦在柏林的公寓，还有他在德国卡普斯的另一套住宅。幸运的是，他的资料已经被秘密地送到了法国大使馆。同年，爱因斯坦第三次来到美国，并接受了普林斯顿高等研究院的教授职位。从此以后，他再也没回过欧洲。

革命性科学发现的推动力

1938年，爱因斯坦与利奥波德·英菲尔德（Leopold Infeld）合作出版了《物理学的进化》（*The Evolution of Physics*），让全世界的人有了一个不可多得的机会，聆听爱因斯坦这位物理学领域最重要的科学家亲口讲述他取得重大突破的传奇经历。这部著作的独特之处在于浅显易懂，即使非专业人员也可以一睹为快。事实上，爱因斯坦和英菲尔德视这本书为他们和读者之间的“简单对话”。虽然两位作者没有回避整个故事中极具挑战性的部分，但他们没有使用数学方

程式，而是通过思想实验或类比来帮助读者理解。这本书之所以非常独特，还因为爱因斯坦和英菲尔德不仅解释发生了什么，还解释了原因。也就是说，这本书介绍了这个用于解释现实的新理论是如何产生的。与此同时，爱因斯坦和英菲尔德还揭示了科学进步的很多智力过程。[注]

全书分成4个部分。第一部分是现代科学的起源，即牛顿力学理论。爱因斯坦写道：“我们外部世界的现实是由粒子和粒子之间的简单作用力构成的，简单作用力的大小仅与粒子之间的距离有关。”第二部分是法拉第和麦克斯韦的电磁场理论。爱因斯坦对场论进行了总结：“要让所有事件都变得井井有条，要理解这些事件，最重要的或许不是了解物体的行为特点，而是了解物体之间的某个事物（也就是场）的行为特点。但是，只有通过大胆的科学想象才能充分理解这个问题。”第三部分是爱因斯坦的狭义相对论。它彻底推翻了诸如“绝对时间”这样的旧概念，并创造了一些新概念，比如，观察者选择的参照系对于事件的描述和解释具有非常重要的意义。第四部分是量子理论。爱因斯坦写道，量子理论“没有提出个体必须遵循的法则”，而是提出了“概率律”。[注]

牛顿力学理论

牛顿的目标是解释运动，但这项任务可能比他预料的复杂得多。爱因斯坦说：“一块被抛到空中的石头，一艘航行在海上的船，一辆在街道上运动的手推车，实际上都是非常复杂的。”静止的物体，比如静止的手推车，需要通过某个动作或施加作用力才能让它运动起来，也就是说，必须有人“推它或抬它，或让其他物体……对它产生某种作用”。牛顿的惯性定律认为力是必不可少的，“物体会保持其静止或匀速直线运动的状态，除非有外力迫使其改变这种状态”。[注]

力并不是体现在观察对象的运动速率（或速度）上，而是体现在速度变化上，这是爱因斯坦最早指出的牛顿力学必须面对的一个最重要的细节。换句话说，手推车的运动速度并不能证明手推车受到了力的作用。相反，只有观察到手推车的速度发生了变化，才能证明作用力的存在。如果石头从塔顶上掉下来，它的速度会在坠落的过程中不断增加。如果这块石头被抛向空中，它的运动速度就会逐渐减慢。在石头脱手的那一刻，向上的作用力非常大，随着石头上升，它的速度会减慢，因为重力正在把石头拉向地面。从速度的变化，我们可以断定石头受到了力（重力）的作用。爱因斯坦说，力体现在速度变化上，而不是速度本身上，这是一个非常复杂又微妙的难点，也是“牛顿经典力学的基础”。注

牛顿力学是针对所有现象提出的，但重力是日常生活中最普遍的力量。牛顿的万有引力定律指出，任何两个物体之间都存在相互吸引力，即万有引力。万有引力与物体的质量成正比，与两个物体间的距离成反比。物体越大，引力就越强；物体越远，引力就越弱。然而，这条定律导致牛顿之后的所有科学家都认为引力与物体的重量（质量）及物体之间的距离有关。法拉第和麦克斯韦最了不起的地方就是对这种观点提出了质疑，并通过不同方法解释了电和磁之间的吸引力。爱因斯坦因此把他们视为自己的榜样。

法拉第和麦克斯韦的电磁场理论

经典力学最无法完成的任务就是解释“所有现象”，而不仅仅是重力现象。当牛顿的力学理论无法解释电、磁和光时，新的科学便呼之欲出。爱因斯坦回忆说，库仑为了让牛顿力学可以解释电现象，曾断言电动力与距离和质量有关。两个物体之间的距离越短，电量越大，物体之间的电动力就越强。然而，爱因斯坦发现，库仑的努力并不能完全解释电现象，因为电动力和万有引力之间存在明显的不同。万有引力一直存在，但电动力不会自动产生。此外，万有引力表现为

吸引力，而电动力既包含吸引力也包含排斥力。爱因斯坦认为，电和磁之间的联系被发现后，牛顿力学对电现象的解释就不攻自破了。例如，电荷的速度增加时，所产生的磁力也会增加，由此可见，磁力并不像牛顿和库伦所认为的那样，只与距离和质量（或电量）有关。㊟

爱因斯坦强调，法拉第、麦克斯韦和赫兹把“一些革命性的观点引入了物理学”。在阐述这些观点的核心内容时，爱因斯坦说：“这些新概念源于它们与电现象的联系。”电不仅颠覆了现代社会的运行方式，还让人类对自然界运行方式的基本认识发生了根本性变化。㊟

接下来，爱因斯坦阐明了为什么场论在解释电磁现象时效果优于力学理论。他回顾了电流对磁体的作用，然后提出一个问题：电流对磁体的作用力是如何产生的？爱因斯坦解答了这个问题：“事实证明，场是一个非常有用的概念。场首先是场源与磁针（用来描述吸引力）之间的某种东西。”如果物体之间看似空荡荡的空间不是空的，而是充满电力线和磁力线，牛顿力学理论怎么可能正确呢？吸引力又怎么可能只与物体的质量及距离有关呢？㊟

场论的最终成果来自它与波动说的联系。爱因斯坦明确指出，麦克斯韦方程的“数学推导结果”是“电磁波……电场的每一个变化都会产生一个磁场，磁场的每一个变化又会产生电场……如此循环反复”。最后，爱因斯坦提出了另一个问题：“电磁波在真空中的传播速度是多少？”他给出的答案是：“电磁波的速度等于光速。”爱因斯坦说：“从理论上发现电磁波以光速传播，是科学史上最伟大的成就之一。”电的独特性在于，它不仅可以满足人类的日常生活需求，还是推动革命性科学进步的关键因素。㊟

爱因斯坦的相对论

爱因斯坦的相对论毫无疑问是具有里程碑意义的科学突破。在法拉第的电磁感应定律和麦克斯韦方程式的启发下，爱因斯坦开始思考光速恒定会产生什么结果，从而和电的研究建立了重要联系。狭义相对论就是这种思考的成果之一。

爱因斯坦通过若干简单的例子介绍了他的科研成果。在每个例子中，观察结果都变化不定，原因就在于爱因斯坦所谓的坐标系，或者更简单地说，就是观察者的参考系。在其中一个例子中，爱因斯坦设想有一个人正在行驶的船上行走，速度是每小时3英里。船上的观察者肯定认为这个人的速度是每小时3英里。如果观察者在岸上，而不是在船上呢？如果船的速度是每小时30英里，岸上的观察者就会说，船上的那个人正在以每小时33英里（人的步行速度和船的行驶速度之和）的速度前进。在牛顿经典力学中，这两种观察结果的差别是完全可以理解的。事实上，一个观察者的观察结果可以被“转化”成另一个观察结果，就像上文那样，把两个速度相加即可。注

但是，当科学家们开始测量光速时，问题就出现了。光的速度会随参考系的变化而变化吗？如果船上的人以光的速度行走，那么在岸上的人看来，他的速度需要在光速的基础上加上船的行驶速度吗？如果麦克斯韦方程组适用于这个情境，答案必然是否定的。正如爱因斯坦所说：“光的速度在所有坐标系（或参考系）中都相同，与发射源是否运动、如何运动，没有任何关系。”爱因斯坦断言，如果光速在所有参考系中都相同，“（牛顿的）运动定律就存在自相矛盾之处”。注

这个发现令人惊讶。如果光速在任何参考系中都是恒定的，时间和距离的测量就会因参考系的不同而不同。爱因斯坦指出：“如果光速在所有坐标系中都相同，那么移动的木棒长度必然会改变，移动的时钟节奏也必然会改变。”他据此得出了一个著名结论：时间和距离

的测量因观察者的参考系的变化而变化。由此可见，爱因斯坦的观点建立在光速是一个不变常量的基础之上。注

接下来，爱因斯坦将牛顿定律定义的力的概念与他的相对论定义的力的概念进行了比较，并很快推导出他的那个著名的方程式。对于牛顿来说，力可以用速度的变化来表示，而速度的变化量与初始速度无关。在相对论中，这个观点是不对的。已知力导致的速度变化与初始速度是有关系的，把速度从每小时100英里提高到每小时101英里，比从每小时10英里提高到每小时11英里需要的力更大。也就是说，在提高速度时，初始速度越大，需要的力就越多。因此，我们可以得出一条法则：速度越接近光速，进一步提高的难度就越大；一旦达到光速，速度就无法再提高了。注

随后，爱因斯坦开始考虑质量、运动和参考系的影响。牛顿经典力学认为，质量越大，改变运动状态时遇到的阻力就越大。简单地说，推动一辆满载的手推车比推动一辆空手推车需要的力更大。相对论提出了一个新概念，即运动状态变化遇到的阻力还会随着速度的增加而增大。借助这个概念，爱因斯坦把能量与质量联系起来。他认为："静止的物体有质量，但是没有动能，即动量。运动的物体有质量和动能，它抵制速度变化的能力比静止物体强。如果两个物体的静止质量相同，那么动能较大的物体对抗外力的能力更强。"他给出了一个令人惊讶的结论："所有的能量都会对抗物体运动状态的改变，所有的能量都与物体质量具有相同的行为特征。"注

最后，他将牛顿力学的基本观点与他的相对论进行了对比："经典物理学引入了质量和能量这两个物理量……经典物理学有两个守恒定律：质量守恒定律和能量守恒定律……根据相对论，质量和能量之间没有本质的区别。能量有质量，质量有能量。所以，相对论只有一个守恒定律，那就是质能守恒定律。"注

对于电学来说，这种质能等效性的直接影响力是巨大的。根据狭义相对论得出的著名方程式，即$E=mc^2$，使核技术成为可能。爱因斯坦的科学突破之路具有同等重要的意义，它建立在法拉第和麦克斯韦电磁研究的基础之上，因为电磁研究促生了电磁波的发现，进而发现光速是恒定不变的。光速恒定是蕴含在$E=mc^2$方程中的质能等效性的基础，这个方程改变了整个世界，其中也包括电力业务。

量子理论

在讨论了场论和相对论之后，爱因斯坦在《物理学的进化》的第四部分介绍了量子理论：“一些基础性问题还有待解决。我们知道，所有物质都是由有限的几种粒子构成的。这些基本粒子如何形成了各种各样的物质？这些基本粒子如何与场相互作用？通过寻找这些问题的答案，物理学引入了一些新思想——量子理论。”量子力学研究的是微观粒子的运动规律。[注]

爱因斯坦在1938年写作的关于量子力学的文章中进一步表明，电在物理学取得的这个重大进步中起到了核心作用。对于爱因斯坦来说，电和量子力学的基本联系来自“一个认识：电子是带负电荷的基本粒子，是原子的组成部分，也是构成所有物质的基本单位之一”。他指出，著名物理学家约瑟夫·汤姆逊（J. J. Thomson）已经证明，“电流是由微粒构成的，就像沙滩是由沙粒组成的，房子是由砖块砌成的一样”。构成电流的“沙粒”，更确切地说是基本粒子，叫作电子。他再次强调了电的重要性：“这个研究成果将物质的结构问题与电紧密地联系在一起。毫无疑问，这与许多独立实验得出的结果是吻合的。”[注]

核武器的诞生

不仅是爱因斯坦本人，他的方程也被他人著书立说，科学作家戴维·博达尼斯为它创作了一部质量上乘的传记——《E=mc2传》（2000）。在这个方程的影响力不断扩大的过程中，其他科学家利用爱因斯坦在1905年的第五篇论文中提出的伟大见解，开辟出一条通向20世纪40年代开发和使用核武器的道路。

至少在某种程度上，核武器的诞生过程始于20世纪早期的原子研究。大约在1910年，欧内斯特·卢瑟福（Ernest Rutherford）研究发现，原子几乎是中空的，原子核居于中心位置，带负电荷的电子沿着外侧运行；原子核中有带正电荷的质子。后来，詹姆斯·查德威克（James Chadwick）在1932年发现原子核中还有呈电中性的中子。查德威克用中子高速轰击原子核，想看看中子数量增加后原子核会发生什么变化，但是方法无效。1934年，恩里科·费米（Enrico Fermi）发现缓慢移动的中子可以挤进原子核。[注]

这个研究方向上的下一个重大发现是由莉泽·迈特纳（Lise Meitner）在1938年完成的。迈特纳是德国最著名的科学家之一，她和奥托·哈恩（Otto Hahn）在威廉皇帝研究所合作过，并取得了丰硕的成果。希特勒在1933年上台后，迈特纳便被逐出柏林大学，因为她是犹太人。后来，她又被逐出威廉皇帝研究所；遗憾的是，这一次被驱逐也有哈恩的一份“功劳”。尽管如此，迈特纳在斯德哥尔摩流亡期间，并没有停止与哈恩的合作。[注]

迈特纳专注于研究自然界中最重的元素铀。铀的原子核里挤满了中子，迈特纳想知道用中子轰击铀原子核会产生什么结果。会创造出什么东西呢？会变重吗？在瑞典过圣诞节期间，迈特纳收到了哈恩的一封信，信中说他发现了一些不寻常的现象。迈特纳的外甥罗伯特·弗里希（Robert Frisch）是在丹麦工作的一名物理学家，与尼尔斯·玻尔（Niels Bohr）是同事。当时，弗里希正和他的姨母迈特纳一起在瑞典度假。哈恩说，对铀原子核的轰击引发了放射性现象——“能

量流喷射而出”。这个结果并不是特别令人惊讶。玻尔认为，原子核随时会分裂，因为带正电荷的质子相互排斥（同性相斥）。现在的问题是：中子数量增加，能否导致原本平衡的天平发生倾斜，进而使原子核分裂呢？(注)

迈特纳和弗里希发现，中子的轰击让原子核发生了分裂，而没有让原子核变大。迈特纳和弗里希借用了一个生物学词汇，把这个过程称为裂变。这与爱因斯坦方程有着非常重要的联系。在一个原子核裂变为两个较小原子核的过程中，失去的质量被转化为能量，这与爱因斯坦方程的预测不谋而合。博达尼斯说，如果这个发现是在其他时间完成的，那么爱因斯坦方程可能需要花几十年的时间才能得到科学界的认可，“但在1939年，地球上刚刚爆发有史以来最大的一场战争。世界各国都在比赛，看哪个国家能率先找到方法，将这个方程的潜力发掘出来”。这是一场争相制造核武器的竞赛。(注)

1939年，爱因斯坦的一位老朋友、时任哥伦比亚大学教授的匈牙利物理学家利奥·西拉德（LeóSzilárd）找到他。听了西拉德的解释，爱因斯坦很快就认识到铀裂变研究有可能造成危险的后果。雷曼兄弟公司的经济学家亚历山大·萨克斯（Alexander Sachs）给了爱因斯坦一些建设性意见，随后爱因斯坦给罗斯福总统写了一封信。他在信中写道：“这个新的发现还可以用来制造炸弹。可以想象，尽管我不是特别确定，这种新型炸弹的威力巨大。只需用船只将一枚这样的炸弹运载到某个港口，然后引爆，就可能将整个港口连带周围陆地上的设施彻底炸毁。”萨克斯在将近两个月后才找到机会把爱因斯坦写给罗斯福的这封信送了出去。尽管爱因斯坦当时已然是世界上最著名的科学家，但罗斯福并没有特别重视这件事。读完爱因斯坦的信后，罗斯福成立了一个由利曼·布里格斯（Lyman Briggs）博士领导的铀顾问委员会，布里格斯当时是美国国家标准局局长。(注)

然而，1940年，迈特纳的外甥弗里希已经让英国人相信了制造核武器的可能性。德国人也相信了这种可能性，并且委派世界排名第二的科学家沃纳·海森堡来负责这项工作。1940年，海森堡从希特勒军队占领的捷克矿井中提取了铀，开展了第一次核试验。费米当时已经发现，如果想通过原子核裂变的方式将质量转化为能量，关键点就在于减慢中子的速度。如何减慢中子的速度呢？水可以起到辅助作用，而含有更多氘的重水效果最好。氘是氢的同位素，质量是普通氢的两倍。对德国人来说，重水供应是他们的一个弱项。他们不得不依靠挪威的一处设施来获取重水，但它很快成为盟军的进攻目标，由此延迟了德国科学家得到重水的时间。注

海森堡的第一次核试验失败了，1942年，他终于找到了一个可行的方法。1941年12月7日珍珠港事件发生后，美国实施了“曼哈顿计划”。1945年8月，一架载有核弹的美国飞机飞到日本上空。就这样，爱因斯坦方程第一次对人类产生了重大影响，并造成了灾难性后果。

爱因斯坦既没被告知也没被邀请参与曼哈顿计划，因为美国联邦调查局认为他是一个安全风险。时任美国联邦调查局局长的埃德加·胡佛（Edgar Hoover）称，爱因斯坦是一个潜在的不利因素，因为他是一个和平主义者。尽管如此，《时代周刊》杂志却在封面上刊登了爱因斯坦、他的著名方程式以及原子弹的照片，并因此引发争论。《时代周刊》认为，爱因斯坦虽然没有直接参与发明原子弹，但这个项目是在他的提议下启动的，项目的基础也是他的方程式。爱因斯坦说过，如果他早知道德国人研制不出核武器，他就不会帮忙。他呼吁成立一个国际组织，赋予它“军事力量垄断权”。爱因斯坦说，阿尔弗雷德·诺贝尔设立诺贝尔奖是为他发明炸药的行为“赎罪”，因此他和其他参与者也必须为发明核武器的行为赎罪。爱因斯坦说：“我不知道第三次世界大战爆发时人们会用什么武器……但我可以告诉你，第四次世界大战爆发时人们使用的武器将是石块。”注

爱因斯坦留给世人的遗产

爱因斯坦留给世人的最直接遗产，是在他1905年发表的5篇论文中的最后一篇。这篇论文中的$E=mc^2$方程，是核武器和核技术的科学基础。无论这些技术给我们带来了什么，爱因斯坦都不应受到指责，也不应独占全部功劳，但他确实推动了这些技术的发明。

物理学在19世纪和20世纪取得的伟大进步，在很大程度上要归功于对电的性质以及电、磁、光三者间的密切联系的研究，这对于电的历史而言意义重大。牛顿力学的经典地位促使科学家们在解释自然界的其他主要作用力时，往往倾向于运用万有引力定律。但也正是因为牛顿力学无法解释电、磁和光，才为法拉第和麦克斯韦的电磁场理论打开了一扇门。麦克斯韦的研究不仅颠覆了牛顿力学，还通过证明光速恒定为下一个伟大的进步——爱因斯坦的相对论——奠定了基础。值得一提的是，电磁学凭借它在量子力学中的核心地位，继续在科学进步中发挥着关键作用。

遗憾的是，进一步探索电学发展道路的努力已经让位于电力行业的其他关键因素，包括法律、法规，尤其是政治。看看今天关于电学的讨论，鲜少有像电学研究引发伟大科学革命这样的内容，科学革命推动电力生产和电力技术应用的内容更是少之又少。当然，科学引领新革命的潜力还未完全被发掘出来，人类必须重新走上这一发现之路。

爱因斯坦留给我们的遗产还包括他为科研人员设定的行为标准：彬彬有礼，平易近人，谦虚低调。他欣赏在他之前以及和他同时代的科学家们。他对科学进步的过程表现出深深的关注，他说，“提出新的问题、新的可能性，从新的角度审视旧问题，需要创造性的想象力，也是科学取得真正进步的标志。”[注]

从他与英菲尔德合写的那部著作中可以看出，爱因斯坦是一个脚踏实地的人。1916年，爱因斯坦又写了一本适合门外汉阅读的《狭义与广义相对论浅说》（*Relativity:The Special and General Theory*），还出版了文集《想法和意见》（*Ideas and Opinions*）。爱因斯坦的写作范围广泛，除了科学，还涉足政治、政府、和平主义、教育、友谊和宗教等。他不仅关注科学研究，还关注科学对当代世界的影响。

爱因斯坦写道："我的信仰包含了对不懈追求卓越的精神的恭敬之心，当我们用脆弱无力的才智去感知那些细微之处时，这种精神就会展现在我们眼前。"他对科学和宗教的相互作用发表了更深入、更自由的观点。1939年，爱因斯坦在普林斯顿神学院发表演讲时坦承："人们普遍认为，知识与信仰之间存在不可调和的矛盾。"然而，他说："科学只能断言'是什么'，而不能断言'应该是什么'。"[注]

爱因斯坦于1955年4月离开人世，享年76岁。《时代周刊》在题为"天才陨落"的讣告中指出，如果没有被爱因斯坦的外表蒙住双眼，我们就会发现"这个在新泽西州普林斯顿默瑟街112号的一幢不起眼的木屋里"居住了22年，"穿着肥大的裤子，戴着蓝色绒线帽，不修边幅，谦虚低调的矮个子男人"，"不仅智商非常高，而且想象力丰富，所以才能够超越经典的科学理论，更深入地研究前人未曾研究的物质的奥秘"。[注]

在爱因斯坦生活的那个时代，普通民众往往会接受科学家对这些"物质的奥秘"的看法，即使他们无法对科学家给出的证据做出独立的判断。彬彬有礼、平易近人、谦虚低调的爱因斯坦也很容易得到他们的信任，今天我们比以往任何时候都更需要这种信任，以及像爱因斯坦一样的科学家。[注]

1. Albert Einstein and Leopold Infeld,The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta (New York: Simon & Schuster,1938),197－98.(With all due respect to Professor Infeld,and for convenience only,the remaining cites only Einstein in the text.)

2. Walter Isaacson,Einstein: His Life and Universe (New York: Simon & Schuster,2007),438;Kristen Rogheh Ghodsee,“Einstein’s Pacifism: A Conversation with Wolfram Wette,”Institute for Advanced Study,2015,accessed October 1,2016, <https://www.ias.edu/ideas/2015/ghodsee-einstein-pacifism>

3. Matthew Chalmers,“Five Papers That Shook the World,” Physicsworld.com,January 5,2005,accessed October 1,2016, <http://physicsworld.com/cws/article/print/2005/jan/05/five-papers-that-shook-the-world>

4. Chalmers,“Five Papers That Shook the World.” The speed of light is about 186,000 miles per second.

5. Isaacson,Einstein: His Life and Universe,10－11,18－19.

6. Don Howard and John Stachel,eds.,Einstein: The Formative Years,1879－1909(Boston: Birkhaüser,2000),91－92.

7. Isaacson,Einstein: His Life and Universe,25,32－34,36,48.

8. Isaacson,Einstein: His Life and Universe,56－57,71.

9. Isaacson,Einstein: His Life and Universe,73,77－79.

10. Chalmers,“Five Papers That Shook the World.”

11. Albert Einstein,“On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light,”Annalen der Physik (1905),online atPrinceton University Press Einstein Papers,accessed October 1,2016,<http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/100>;Chalmers,“Five Papers That Shook the World.”

12. Chalmers,“Five Papers That Shook the World”;Albert Einstein,“On the Movement of Small Particles Suspended in Stationary Liquids Required by the Molecular-Kinetic Theory of Heat,”Annalen der Physik (1905),online atPrinceton University Press Einstein Papers,accessed October 1,2016,<http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/137>.

13. Albert Einstein, “On the Electrodynamics of Moving Bodies,” Annalen der Physik(1905), online atPrinceton University Press Einstein Papers, accessed October 1, 2016, <http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/154>.

14. Chalmers, “Five Papers That Shook the World.”

15. Chalmers, “Five Papers That Shook the World”; Albert Einstein, “Does the Inertia of a Body Depend upon Its Energy Content?,” Annalen der Physik (1905), online atPrinceton University Press Einstein Papers, accessed October 1, 2016, <http://einsteinpapers.press.princeton.edu/vol2-trans/186?ajax>.

16. Isaacson, Einstein: His Life and Universe, 140–41, 143–45, 149.

17. Stephen Hawking, “A Brief History of Relativity,” CNN, December 27, 1999, accessed October 1, 2016, <http://www.cnn.com/ALLPOLITICS/time/1999/12/27/relativity.html>; “May 29, 1919: Eddington Observes Solar Eclipse to Test General Relativity,” American Physical Society, accessed October 1, 2016, <https://www.aps.org/publications/apsnews/201605/physicshistory.cfm>.

18. Isaacson, Einstein: His Life and Universe, 289, 292.

19. Einstein, Evolution of Physics, xvi.

20. Einstein, Evolution of Physics, 295–96.

21. Einstein, Evolution of Physics, 5–6, 8.

22. Einstein, Evolution of Physics, 9–11.

23. Einstein, Evolution of Physics, 76, 121–22.

24. Einstein, Evolution of Physics, 125.

25. Einstein, Evolution of Physics, 134.

26. Einstein, Evolution of Physics, 148–49.

27. Einstein, Evolution of Physics, 156, 161–62.

28. Einstein, Evolution of Physics, 169, 177.

29. Einstein, Evolution of Physics, 186.

30. Einstein, Evolution of Physics, 193–94.

31. Einstein, Evolution of Physics, 196–97. Emphasis added.

32. Einstein, Evolution of Physics, 197–98.

33. Einstein, Evolution of Physics, 243.

34. Einstein, Evolution of Physics, 253, 256.

35. David Bodanis, $E=mc^2$: A Biography of the World's Most Famous Equation (New York: Walker Publishing Company, 2000), 96–99.

36. Bodanis, $E=mc^2$, 100–101, 103–106.

37. Bodanis, $E=mc^2$, 105–10.

38. Bodanis, $E=mc^2$, 112–13.

39. Isaacson, Einstein: His Life and Universe, 471–73, 475–76; "Primary Resources: Letter from Albert Einstein to FDR, 8/2/39," PBS American Experience, accessed October 1, 2016, <http://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/primary-resources/truman-ein39/>.

40. Bodanis, $E=mc^2$, 119–20, 124, 134–40.

41. Isaacson, Einstein: His Life and Universe, 477–78, 485, 489–90, 494; "July 1, 1946, Cover," Time, accessed October 1, 2016, <http://content.time.com/time/covers/0,16641,19460701,00.html>.

42. Einstein, Evolution of Physics, 92.

43. "Dr. Albert Einstein Dies in Sleep at 76; World Mourns Loss of Great Scientist," New York Times, April 19, 1955, accessed October 1, 2016, <http://www.ny
times.com/learning/general/onthisday/bday/0314.html>; Einstein, Ideas and Opinions, 41–42, 45.

44. "Death of a Genius," Time, May, 2, 1955.

45. "Death of a Genius."

第四部分　危机时代

空气污染、核事故和大停电

第13章　艾森豪威尔的“原子能为和平服务”计划

美国向你保证……它将全身心地寻找一条可行之道，利用人类不可思议的创造性去拯救人类的生命，而不是剥夺他们的生命。

——德怀特·艾森豪威尔[注]

希特勒（和海森堡）的计划在“二战”中造成的紧张气氛，说明爱因斯坦方程的应用受到了全球冲突的影响。他的革命性理论将被用于制造核武器，引发一场货真价实、危险至极的“热”战。

第一项核技术是针对战争目的研发的，这意味着所有核技术都将永远被划归这个类别。即使在核试验转向和平目的之后，也无法摆脱这种联系。人们还是会经常问这样的问题：“传统核电站会像核弹一样爆炸吗？”（答案是否定的。）或者，“核电站能生产可用于制造核武器的材料吗？”（答案是肯定的。）核技术诞生于战争，这个事实可能永远不会被遗忘。[注]

核技术在“热”战之后，就被视为一种可以在像“冷战”这种新型的全球冲突中使用的武器。美国联邦政府是核能的主要支持者，并非因为它是低成本的电力来源，而是因为它在“冷战”中的巨大价值。1953年，美国总统德怀特·艾森豪威尔在联合国大会上慷慨陈词，将核能提升至经济武器的高度。此外，海军上将海曼·里科弗（Hyman Rickover）倡导利用核反应堆为潜艇和其他军舰提供动力，从而为“冷战”时期的美国核动力海军提供了一种新的军事武器。在

某种程度上，里科弗领导研究的核潜艇技术后来演变为大规模的商业核技术。(注)

50多年来，核技术演绎了一个从兴起到衰落的故事。当然，核技术的兴起源于它应用了20世纪最重要的一些科研成果，包括爱因斯坦方程，以及曼哈顿计划的科学与工程技术。从这个意义上说，美国的核技术发展可以追溯到富兰克林时代，那是一个令人敬畏和重大发现层出不穷的时代。不幸的是，事实证明，核能更适合于“危机时代”。这个时代的民众再也不像以前那样，一心想着供应充足、人人负担得起的电能可以带来哪些好处，而是把注意力越来越多地集中在电力生产可能造成的危害上。三次重大事故相继发生在危机时代，分别是1979年宾夕法尼亚州三里岛核事故、1986年苏联切尔诺贝利核事故和2011年日本福岛核事故。

关于核技术的衰落，我们必须从长远的角度来讨论这个问题，因为核电站目前仍为美国提供了20%的电力。显然，“衰落”并不意味着核能的终结，而是不再建造新的核反应堆，美国已有几十年未发放建造新核反应堆的许可证了。然而，与煤炭等化石燃料不同，核电站几乎不排放二氧化碳等温室气体。所以，有些人提议复兴核能，这在很大程度上是因为对全球气候变化的担忧。(注)

核能和核武器

核能和核武器的基本物理学原理是一样的，都是用中子轰击原子核并使其发生裂变。对于公众来说，这通常被称为“原子分裂”，而科学家称为核裂变。爱因斯坦方程（$E=mc^2$）预测，核裂变的结果是释放出大量的能量。要想知道这些能量的规模，可以考虑这样一个事实：1克精炼核燃料发生裂变反应释放出的能量是“1克煤发生燃烧反应释放能量的250万倍”。随着大量能量的释放，多余的中子也会被释

放出来，进而引发新的裂变反应。这样做的目的是实现可持续的链式反应，也就是说，有越来越多的中子撞击越来越多的原子核。注

虽然它们的基本物理学原理相同，但核武器实现链式反应的目的与核能相同，这使得两种技术的基本发展方向产生了一个重要的分歧。核武器的目的是让大量中子在同一时刻撞击大量原子核，从而引起爆炸。快速中子是核武器所需要的，为了得到快速中子，需要使用“浓缩铀”。99%的天然铀都可以用作核武器和核能的基本材料，这些铀被称作铀238。制造核武器时，必须通过“铀浓缩”的环节将铀238转化成铀235，使铀235的浓度超过90%。铀235和铀238是铀的两种同位素，其中的数字表示每个原子核中质子和中子数量的总和。注

而核能需要的是“慢速中子”，通过核裂变获得稳定的热量，再用这些热量把水变成蒸汽。一旦蒸汽产生，后面的发电过程就与传统发电方式没什么不同了，因为核电站也是用蒸汽驱动涡轮发电机发电。更重要的是，电力生产所需的铀经过浓缩处理之后，铀235的浓度通常只有3%左右。因此，加州大学伯克利分校的物理学家理查德·穆勒（Richard Muller）在他的《未来总统的物理课》（*Physics for Future Presidents*）一书中得出了一个令人放心的结论：“核反应堆不会像原子弹那样爆炸，公众的认识是不正确的。”注

由于2015年达成的伊朗核问题协议，核能和核武器之间的联系受到越来越多的关注。伊朗声称自己正在开发的是用于和平目的的核能，但美国和其他国家却担心伊朗走上制造核武器的道路。伊朗核问题协议就提到了上文所说的浓缩铀的问题，比如协议中有这样一个条款：“伊朗应在15年内让浓缩铀的纯度持续控制在3.67%以下”。该协议还指出，伊朗“浓缩铀的纯度已经接近20%”。伊朗也同意限制铀浓缩设备的使用，比如，把位于纳坦兹的某个级别的离心机数量减少到5060台。伊朗拥有1.9万台这种级别的离心机，其余的将被封存起来。注

核电站生产核武器材料的另一种方法是“再加工”乏燃料。钚是核反应堆产生的“废料”，如果通过再加工过程使其与其他核废料分离，就可以用作核武器材料。核电站在生产与安全方面比其他任何传统发电厂都更依赖于先进的科学技术。

这本书不打算对伊朗核问题协议进行全面评估。不过，虽然伊朗核问题协议遵循了前面介绍的基本前提，但这份协议最终达成的原因远不只是核技术，文化也起到了非常重要的推动作用。在某种意义上，有些人可能把赌注押在了伊朗的年轻人身上，希望他们未来能寻求机会带领伊朗融入国际社会。但是，有的人对此持不同意见。

“原子能为和平服务”计划

1953年12月8日，美国总统艾森豪威尔在联合国大会上发表了题为“原子能为和平服务”的演讲。他的演讲在今天听来有点儿令人惊讶，但也相当鼓舞人心，因为这位从“二战”中走出来的美国总统所做的是“对原子能危险性与巨大威力的陈述”。他回忆道，1945年7月16日，美国“引爆了世界上的第一颗原子弹”，此后又进行了42次核试验。他接着说道，当代原子弹的威力是最初的原子弹及核试验的25倍，美国的“核武器储备……比‘二战’时期所有战区的所有飞机投放的炸弹，以及所有枪炮发射的枪弹、炮弹的爆炸当量的总和还要多出无数倍”。艾森豪威尔警告说，美国不再独享“原子能的可怕秘密和恐怖装备”。在表达对核战争的担心时他说，即使遭到“毁灭性报复”，也不能保证核战争永远不会发生。不过，他明确表示，一旦遭到攻击，美国将采取报复行动，即使在“满目疮痍”或“文明毁灭”的情况下没有“胜利”可言，美国也在所不惜。[注]

之后艾森豪威尔宣称，美国希望发挥“建设性作用，而不是破坏性作用”，希望“国家之间达成协议，而不是发动战争”。自此，他

的演讲点燃了听者心中的希望。他说：“仅仅把核武器从军人手中拿走是不够的，还必须把它们交到合适的人手中，剥去核武器的军事外衣，并用于维持和平。”美国马上就可以实现这个目标，因为美国已经掌握了相关技术。用他的话来说，“和平利用原子能并不是遥不可及的梦想”。[注]

艾森豪威尔随后呼吁建立一个由联合国监管的国际原子能机构（IAEA），管理核材料，实现全世界共享。国际原子能机构致力于促进世界各国利用原子能“为人类的和平服务”，“满足农业、医药和其他和平活动的需要”。他建议人们注意“在世界上严重缺电的地区提供大量电能”这个“特殊目的”，所有应用都是为了“满足人们的需要而不是引起人们的恐慌”。在演讲快结束时，艾森豪威尔承诺美国将“全身心地寻找一条可行之道，利用人类不可思议的创造性去拯救人类的生命，而不是剥夺他们的生命”。[注]

在艾森豪威尔总统发表这个演讲后不久，1954年，美国原子能委员会（AEC）前主席戈登·迪安（Gordon Dean）发表了一篇文章，循着艾森豪威尔提出的路线，提出了与其他国家分享美国的核技术（不包括与核武器有关的核技术）的主张。第二次世界大战之后，美国借助1946年颁布的《原子能法》建立起保密制度，禁止美国企业向其他国家透露核技术的秘密。不过，1954年美国已经准备好推动“关于和平利用原子能的信息和材料的大胆交换”。[注]

除迪安之外，另一位与他同时代的人也曾撰文指出在全球范围内推广和平的核技术有诸多益处。这个人名叫罗伯特·麦金尼，当时担任一个无党派公民小组的主席，他向原子能联合委员会递交了一份报告，对和平利用原子能的影响力进行了分析。1957年，麦金尼撰文指出，核能可以对世界和平做出巨大贡献。他的一个重要理由是，核能有可能极大地减少西欧和其他地区对中东石油的依赖；另一个理由是，核能可以促进世界上不发达国家的经济发展。[注]

显然，“原子能为和平服务”计划是在“二战”结束和“冷战”开始这个历史背景下更广泛的地缘政治战略的一部分。在全球范围内推广核能，并共享相关核技术，是美国和苏联“冷战”战略的核心。军备竞赛和太空竞赛是显而易见的竞争手段，而利用核技术来获得盟友支持的努力却常被忽视，虽然它留给我们的遗产也很重要。佐治亚理工学院的约翰·克里奇（John Krige）教授指出：“对美国（和苏联）而言，在国际舞台上展示高超的科学技术水平，摆出慷慨大方的姿态，是为了赢得人心、取得合法性，甚至是为了彰显其相较于竞争对手的政治体系的优越性。”此外，控制不发达国家的一项关键战术就是让它们对美国技术产生依赖。注

核能业务的发展

从一开始，依据1946年的《原子能法》创立的美国原子能委员会就面临着两个矛盾。一是，在保守核武器的技术秘密和推动核能发展之间如何取得平衡；二是，推动核能发展与承担安全监管责任之间如何取得平衡。在艾森豪威尔发表“原子能为和平服务”的演讲之后，美国方面想与其他国家分享科学和商业知识，以发展私人核能出口工业，另一方面又要防止这些技术被用于军事目的。美国原子能委员会与私营企业合作展示核技术的做法，是推动核能发展战略在这两个矛盾中最终胜出的一个明显证据。

在早期阶段，原子能委员会大力建造各种设施，为生产核武器材料钚和核能的双重目标服务，但是它的工业合伙人在得到这个授权后并没有实现蓬勃发展。因此，原子能委员会决定与私营企业合作，建造5座发电厂。希平港核电站是美国第一座商业核电站，这座核电站之所以建在宾夕法尼亚州匹兹堡附近，主要是因为当地的公用事业公司

杜肯照明承诺提供场地，以及500万美元的资金。希平港核电站于1954年9月开工建设，1957年12月投入生产，1982年停产。注

希平港核电站是一个备受关注的项目。在奠基仪式上，艾森豪威尔总统挥舞着一根象征性的魔杖，指挥一辆推土机开始工作。海军上将里科弗负责监督核电站的建设。杜肯照明公司的董事长菲利普·弗莱格（Phillip Fleger）说，把第一座核电站建在石油工业发源地附近，以及一个拥有丰富煤炭储备的位置，是非常有意义的，这表明核能是未来的燃料。20世纪60年代，希平港核电站负责人被指控掩盖核泄漏事故，还有一个更糟糕的问题也逐渐浮出水面。注

1955年，美国原子能委员会开始了一系列促进核能发展的努力。在第一阶段，委员会选择了4个示范性发电厂和4种不同的技术。我们知道示范工程未必都能成功，原子能委员会的努力同样如此。在第二阶段，委员会从7个示范方案中选择了两个，但都失败了。在第三阶段，原子能委员会把选择范围限定为那些接受过验证的技术。在第四阶段，原子能委员会又收到了两个方案。它选择了其中一个，即公用事业企业扬基原子能公司投资在康涅狄格州建造的一个575兆瓦的项目。它是在美国原子能委员会的示范项目中最大，也是最后一个核电站。这些示范项目得到了美国原子能委员会和有意开展核电业务的私营企业的大量投资。原子能委员会拨付给扬基公司的财政补贴大约占其成本支出的15%，威斯汀豪斯电气公司投入的资金则占其成本支出的30%。注

1963年，美国原子能委员会的示范项目结束后，人们期待私营企业能继续推动核电业务取得更全面的发展。威斯汀豪斯电气公司的技术优于通用电气，因此，为了取得竞争的胜利，通用电气签订了固定价格的“交钥匙”合同。这意味着通用电气在完成核电站的建设工作，并确保其可以正常运转后，要将核电站的经营权移交给公用事业公司，才能拿到固定数额的报酬。注

这些“交钥匙”合同给通用电气带来了巨大的风险,根据合同，通用电气需要承担项目成本超支的部分。由于这些“交钥匙”合同，即使在私营公司成为推动核技术发展的主力军后，它们对核能项目的补贴仍没有停止。如果一座核电站的实际成本是1.5亿美元，而承诺的交钥匙价格为1亿美元，通用电气或威斯汀豪斯公司就必须承担超支的成本，通过这种方式为核电站提供5000万美元的补贴。通用电气签订了7份“交钥匙”合同，威斯汀豪斯公司签订了6份“交钥匙”合同。通用电气提供给“交钥匙”工程的平均补贴占建造成本的50%，威斯汀豪斯公司的这个数字是43%。[注]

早期核能发展具有政府大力推广、政府和私营企业提供大笔补贴的特征，但这种“商业化”并没有实现其商业可行性。不过，人们深信大政府与大公司合作，肯定可以在大项目中取得成功。

核动力海军之父与“鹦鹉螺号”

新产品要想赢得市场份额，通常要依靠更优惠的价格和更优良的性能。核能有其自身的复杂性，那么它是如何占据美国电力行业20%的市场份额的呢？这在很大程度上归因于联邦政府将发展核能设定为助其赢得“冷战”的战略手段。此外，政府通过原子能委员会为民用核反应堆技术的发展提供了资助，私营企业（尤其是威斯汀豪斯电气公司和通用电气公司）也对“交钥匙”工程进行了补贴。

一个与之相关的问题是，“轻水堆”核电技术是如何在商业核电业务中获得100%的市场份额的呢？要回答这个问题，我们就必须认真考虑海曼·里科弗在其中扮演的角色。里科弗常被人称作“核动力海军之父”，他是建造核反应堆并完成大规模电力生产的第一人。他主持建造的那个核反应堆叫作潜艇STR－Ⅰ型，于1953年5月开始运行。里科弗后来又建造了STR－Ⅱ反应堆，于1955年开始在下水的第一艘核

动力潜艇“鹦鹉螺号”上运行。美国的第一座核电站，即位于匹兹堡附近的希平港核电站，就是在STR－Ⅱ反应堆的基础上建造的。一位历史学家说：“希平港核电站的成功，在很大程度上要归功于海军上将里科弗严谨的计划和执行。”也就是说，从舰船用的小型核反应堆到商业发电站用的大型核反应堆的飞跃，是里科弗的功劳。(注)

里科弗研发核动力舰船的工作开始于第二次世界大战结束后。1946年，里科弗被分配到橡树岭国家实验室，从事核动力基础研究。因为美国海军需要核潜艇，受到用柴油发动机给蓄电池充电的限制，当时的潜艇不能长时间待在水下，这个缺点削弱了潜艇偷袭敌人这个主要的军事优势，而核能的引入有可能使海战发生革命性变化。有人担心，在一个核武器称霸的世界里，海军很可能变得可有可无，因此海军必须具备从海上发射核武器的能力，与陆军和空军并肩作战。考虑到这些，1947年，时任海军作战部代理部长、潜艇军官出身的切斯特·尼米兹（Chester Nimitz）上将批准了核动力潜艇的研发计划，也就不足为奇了。(注)

美国海军急于拥有这种能力，所以里科弗的动作非常迅速。他设定了1955年制造出第一艘核动力潜艇的目标，这意味着必须在1953年对STR－Ⅰ进行第一次测试。一位同行认为，里科弗如此赶进度，是在拿自己的职业生涯冒险。有一次，一个计划进行48个小时的STR－Ⅰ测试活动就发生了一个小意外。测试开始24个小时后，出于安全考虑，项目工程师建议立刻停止测试。但里科弗没有接受他们的建议，他坚持按照预定计划让潜艇穿过大西洋并完成整个测试。测试先是持续了48个小时，然后是60个小时，再然后是65个小时。其间，威斯汀豪斯公司的工程师和里科弗的技术人员纷纷表示抗议，但是里科弗不为所动。最终，他完成了测试，证明“鹦鹉螺号”能够全程下潜，并全速穿过大西洋。(注)

此外，随着他设定的最后期限不断逼近，里科弗选择使用轻水堆（用来做冷却剂和减速剂的都是普通水，而不是含氘的重水），威斯汀豪斯电气公司的这项技术处于领先水平。注与此同时，里科弗还尝试了另一种技术。通用电气开发的马克－Ⅰ型反应堆是一种钠冷堆，这种反应堆被用于美国第二艘核潜艇“海狼号”，但是这种反应堆出现了一些问题，使得里科弗最初选择的轻水堆占据了上风。注

里科弗在核潜艇项目上取得的成功，成为科学技术发展性质研究的一个课题。1996年，社会学家斯科特·弗里克尔（Scott Frickel）回顾了那个时期，并从整体上分析了这种研发活动的性质。他认为，要做到让各方齐心协力、目标一致，难度非常大。政治信念和公共准则必须为这种活动确定战略方向，科学知识必须正确无误，技术必须切实有效，而且成本和绩效绝不能出现偏差。此外，必须得到“工程社会学家”（engineer-sociologist）的支持，因为他们是所有创新网络的黏合剂。里科弗的责任是确保所有相关方都参与到这项活动中来。然而，这项活动也给了我们一个深刻的教训，即具体的目标通常会得到同样具体的结果。里科弗的目标不是建造一座普通的核反应堆，而是一座潜艇上的核反应堆。降低成本不一定是他的核心目标，成本问题固然重要，但是美国海军根本没有提出要建造成本最低的核反应堆的要求。注

里科弗的成就令人印象深刻，对于未来也产生了深远的影响。截至20世纪90年代末，美国海军一共建造了240座反应堆，其中有50座已经安全退役。然而，今天仍然有人认为，那些决定尽管对美国海军来说可能是正确的，但是轻水堆并非发展民用核能产业的最佳选择。关于美国在核技术的选择上是否犯了错的问题，一直没有定论。人们提出了三点质疑。第一，是国家和海军的战略需求引发了对新的核反应堆的需求。军事需求不同于民用或商业需求，它不会为平民着想，也就不会开发在价格和性能方面最适合消费者的技术。第二，“冷战”的迫切需求使得新反应堆的建造速度非常快，但这种研发节奏并不一

定适合商业活动。第三，补贴一直是必不可少的条件。轻水堆得到了美国海军和原子能委员会的资助，威斯汀豪斯公司和通用电气等私营公司也通过“交钥匙”合同的形式为其提供了补贴。而在某种程度上，一项技术必须证明它可以在不借助外力的情况下取得成功。(注)

核能的衰落

核能的衰落主要是针对人们对这项技术的预期而言的，其中被引用最多的衰落证据是被取消的核电站数量。据估计，253个订单中有114个被取消了，占总数的45%。另一个证据是美国停止建造新核电站，目前正在运行的100座核反应堆中，最后一座的施工许可证的颁发时间是1978年。事实上，几乎所有的施工许可证都集中在1964—1978年这个时间段里。(注)

只要提到核能的衰落，就必须把它放到合适的背景下加以考虑。数据清楚地表明，核能不会消失。美国核管理委员会（NRC）的报告称，2014年，在美国的62个不同的地点有100个商业核反应堆正在运行；2016年，美国约有20%的发电量来自核能。全球数据也反映了一种类似的情况。核能是一项关键资源，逐步淘汰核能将是一个十分复杂的挑战。国际原子能机构的报告称，在世界上的30个国家共有450个反应堆正在运行；2012年，核电占全球发电总量的11%。(注)

成本迅速上升

美国取消核反应堆项目订单、核电站的施工许可证遭遇漫长“干旱期”的原因是什么呢？这主要是由成本因素造成的。快速增长的核电站建设成本大大抑制了核电产业的发展。煤电站的建设成本也在上升（煤电站是核电站在基本负荷方面的主要竞争对手，基本负荷在这里是指煤电站和核电站为降低燃料成本而昼夜不停地运转），但建造

新煤电站的成本并没有像核电站那样急剧上升。一项统计研究表明，1971—1978年，新建核电站和新建煤电站的成本上升主要是由建设费用造成的。在这段时间里，新建一座煤电站的成本实际增长了68%；但新建核电站的成本增加得更多，高达142%。随着成本增长，核能在价格方面失去了与煤炭竞争的优势。1971年，核电站的建设成本比煤电站高出不到6个百分点，但到1978年，前者比后者足足高出了52个百分点。[注]

这份研究报告的作者、社会活动家、分析师查尔斯·库曼诺夫（Charles Komanoff）试图找出煤电站与核电站建设成本同时增加的原因。虽然库曼诺夫可以从具体监管措施这个角度来解释煤电站成本增加的原因，但是该方法对核电站无效，这个事实本身就能说明一些问题。库曼诺夫称，从统计数据看，90%的煤电站成本增加都与购置和使用“减少煤电站对环境的危害的新设备有关”，但他却没有发现核电的成本变化与具体监管措施之间存在类似的关系。不过，有间接证据表明美国原子能委员会（当时已更名为美国核管理委员会）1971—1978年颁布的“监管指南”的数量增加了6倍，其造成的结果是，建造新核电站使用的“材料、设备和人工数量”加倍，“工程设计的工作量”是之前的3倍。核电站的建造“环境在不断变化”，库曼诺夫认为原因在于，随着核电站数量的增加，每个核电站发生事故的概率必须降低。他说：“否则，核能扩张可能导致事故发生率逐年增高，公众对核电的信心就会丧失，核电站也会被迫关闭。”[注]

成本不断增加，而且不可预测。在20世纪六七十年代，核电站一直处于成本超支状态。1966—1977年间建造的所有核电站，成本超支的平均幅度超过207%。核电在经历了20年的发展之后，成本快速上升。1975—1979年的新建核电站与1990—1995年的新建核电站相比，后者的建设成本是前者的3倍。[注]

伊利诺伊诺克斯学院的经济学教授史蒂夫·科恩（Steve Cohn）反对那些认为新技术会凭空出现的观点，他建议应该“全面分析技术变化”，并引入“官方技术”的概念。官方技术可以“得到政府强有力的支持，拥有未来技术的高大形象，并且可以吸引‘足够多的用户’……从而取得类似规模经济的效果”。科恩认为，在理解20世纪六七十年代的核能扩张时，应该考虑到它的官方技术的地位。核能的成功并不是因为它拥有“相较于既有方案的可预见的优势”，也不是因为它是在“对未来能源或环境危机有先见之明”的前提下开发出来的官方技术。注

在这里需要提醒大家注意的一个重要问题是，即使在1979年3月28日之前，也就是三里岛核事故发生之前，核能就已经遭遇了失败。尽管许多人可能将核能的衰落归因于三里岛核事故，但事实上，核能衰落的根本原因在于核电站与煤电站的成本竞争。此外，核电站成本竞争失败的根本原因可能是核能获得了官方技术的身份，而这往往意味着商业化速度过快。里科弗的成功令人印象深刻，但里科弗的目标是创建核动力海军，而不是实现核能的大规模商业化。

三里岛核事故

当然，这并不意味着在美国核能衰落的过程中，核电站和其他核设施发生的事故没有起到推波助澜的作用。在争论核能的安全问题时，很多美国人都会想起三里岛核事故。三里岛核电站的1号机组于1974年投产，装机容量约为775兆瓦。2号机组在事故发生前几个月刚刚投入使用，装机容量为880兆瓦。注

世界核协会发表过一份报告，详细回顾了三里岛核事故。该事故发生在1979年3月28日凌晨4点，原因是冷却系统出现了“一个比较小的故障”。如果冷却剂的温度上升，在正常情况下，反应堆应该自动关闭。另一个故障与一个阀门有关，这个阀门在该关闭的时候却没有

关闭，导致反应堆的冷却水从这个打开的阀门流了出去。操作人员并不知道这个阀门正处于打开状态，因为没有仪器专门报告阀门的实际状态。一边是冷却水泄漏，另一边冷却系统还在将水注入反应堆系统。看到眼前的情况，操作人员误以为系统中冷却水过多，于是他们减小了冷却水的流量。随着冷却水不断减少，“反应堆堆芯露出水面……燃料棒熔化，放射性物质外泄”。由于水蒸气和燃料棒的锆发生化学反应，生成大量的氢气，这是令人担心的另一个主要问题。心急如焚的运营商花了“一个月的时间”，才使这个问题得到控制。[注]

1979年10月30日，三里岛核事故调查委员会向卡特总统提交了事故调查报告。委员会认为，这是美国“商业核电史上最严重的事故”，并且断定这是一起“人为事故”，而不是因为设备发生故障。报告明确指出：“设备故障不足以导致这起事故的发生，如果不是人为因素，三里岛核事故就不会发生。”[注]

卡特总统要求委员会就如何“预防未来的核事故”问题给出建议，委员会在调查报告中明确表示要进行彻底的改革。委员会称：“为了防止再次发生核事故，美国核管理委员会和整个核能行业（我们调查的那些机构是其中的典型代表）的管理、操作程序、具体实践、工作态度（这一点最为重要）都必须进行彻底的改革。”[注]

这起事故对核电站附近的居民有什么直接影响呢？宾夕法尼亚州州长理查德·索恩伯格（Richard Thornburgh）下达了疏散命令，对人们的行为和想法产生了重大影响。事故调查委员会称，4天之内无法估计事故的严重程度，因此这4天人们是在恐惧之中度过的。事故发生两天后，州长下令疏散核电站5英里范围内的孕妇和儿童。与此同时，联邦政府也做好了最坏的打算。比如，美国食品药品监督管理局要求制造商提供25万瓶碘化钾溶液，这种药剂可以阻止人体吸收致癌的放射性碘。[注]

时至今日，美国核管理委员会仍称三里岛核事故为美国历史上最严重的核事故。然而，该委员会又宣称，事故“泄露的放射性物质剂量极小，对核电站工人或美国民众没有产生任何可检测的健康影响”。注

被关闭的肖哈姆核电站

长岛照明公司（LILCO）建造的肖哈姆核电站被关闭一事，在业内造成的影响最大，损失也可能是最大的。影响巨大，是因为核电站被关闭时，建造工作已经全部完成。长岛电力局（LIPA）随后以1美元的价格收购了这座核电站，并且拆掉了它。尽管肖哈姆核电站没有生产一度电，但是纳税人仍然需要支付相当大一笔建筑成本，他们每个月的账单上又多出了一项开支。注

1965年，长岛照明公司决定在纽约长岛建造一座500兆瓦的核电站。这是因为客户的电力需求正在以每年10%的速度增长，而且美国原子能委员会正在大力推广核能。1968年，电力需求的增长幅度更大，长岛照明公司决定将发电厂的规模扩大52%。1970年，长岛照明公司建造核电站的两项提案因为遭到当地居民的强烈反对而胎死腹中，从中可以看出民众对建造核电站的态度。不过，肖哈姆核电站还是在1973年开工建设了，计划在1979年之前投入运营。但是，三里岛核事故就是在1973年发生的，这对肖哈姆核电站的生产许可证申请产生了负面影响。当地居民也害怕有人在自家后院建造核电站，因此提出了抗议。尽管如此，肖哈姆核电站的建造工作仍在不断推进。1985年，肖哈姆核电站的建造工作全部完成。然而，1986年，乌克兰发生了切尔诺贝利核事故。注

除了需要面对两起臭名昭著的核事故的恶劣影响，肖哈姆核电站收尾工程的成本也在急剧上升，而且工期延误的情况非常严重。1970年，建造成本估算为2.5亿美元，计划在1975年投入商业运营。到1980

年，成本估算已经上升到22亿美元，投产日期则被推迟到1982年。到1989年，成本估算已经增长到55亿美元。(注)

官方公布的关闭肖哈姆核电站的原因是没有制订突发事故疏散计划，而人们对核事故的恐惧才是根本原因。《纽约时报》刊登了诺拉·布里德斯（Nora Bredes）的专题报道，布里德斯“是反对肖哈姆核电站（投入运营）的平民运动的主要组织者”。1987年，布里德斯在肖哈姆核电站的公开听证会上做证，此时切尔诺贝利核事故刚刚过去8个月。她拿出一张她两岁儿子的照片说：“除了你们搜集并考虑的那些证据，还应该考虑这个证据。”她接着说，这张照片“告诉我们不能允许肖哈姆核电站投产运营，否则你将面临怎样的风险”。布雷德斯于2011年去世，终年60岁。在她去世后，她的儿子内森（照片中的那个孩子）告诉《纽约时报》的一位记者，日本的福岛核事故“正是他们在长岛努力防止发生的悲剧”。(注)

肖哈姆核电站之所以能顺利开工建设和完工，是因为这座核电站对于长岛照明公司来说具有非常重要的意义。由于成本加成定价法，大型核电站成为一个赚大钱的项目，因此长岛照明公司想要建造一座核电站。此外，该公司可能认为这个项目不会有任何财务风险，只要决策过程小心谨慎，就肯定能收回成本。令人惊讶的是，长岛照明公司的假设在很大程度上是正确的。

然而，肖哈姆核电站被关闭了，因为它不是公用事业公司的客户想要的东西。三里岛和切尔诺贝利核事故的发生证明了其中蕴藏的风险。如果没有有效的人群疏散计划，就没有办法摆脱这种危险。2011年3月11日，福岛核事故的发生证实了这些担心并不是杞人忧天。此时，距离肖哈姆核电站被关闭已经有一段时间了。

监管制度也是造成这个重大失败的一个主要原因，具体来说，是由风险分配不当造成的。在其他任何行业中，私营公司都不会认为用

户一定愿意承担成本，且不计较成本是高是低。除了接受政府监管的电力公司以外，任何私营企业都不会采用成本加成定价法。没有一家私营公司会认为自己绝不会遭遇任何风险，它们在选址时也不会对成千上万客户的反对意见置若罔闻。这就是受监管的公用事业公司与私营企业不同的地方。与其说肖哈姆核电站是技术上的失败，倒不如说它是传统的成本加成价格监管机制的失败。

核废料储存难题

核电厂为美国提供了20%的电力，与此同时，放射性核废料也越积越多。商业咨询集团法维翰公司报告说，全美共有76个地点，储存着约65000吨核废料。除了一个地点外，其他地点也是核反应堆所在地。注由于美国不会对乏燃料进行再处理，因此美国面临的核废料难题更大。注

1982年，美国国会通过了《核废料政策法》，要求美国能源部“在1998年1月31日之前，接收并处理使用过的核燃料和高放射性核废料”。为完成这项任务，能源部选择了10个可能的地点。1987年，国会最终选择了内华达州的尤卡山，距离拉斯韦加斯大约90英里。2002年，国会和小布什总统批准了尤卡山选址方案，但他们的这个决定是“在内华达州不同意的情况下”做出的。2010年，政治形势发生了逆转，奥巴马总统和国会停止了对尤卡山项目的后续拨款。注

然而，联邦法院对尤卡山项目持不同看法。根据核废料储存合同，美国能源部每年都可以从核电设施中收取7.5亿美元的费用。但是联邦法院发现，美国能源部存在违反合同的行为。2010年，能源部部长领导的一个“蓝丝带”专家小组，建议成立独立的“核废料管理组织”，并给出了一些指导方针，其中包括“在达成一致意见基础上的选址政策”。由此可见，核废料集中储存问题在政治上陷入了困境。

只要核废料储存问题悬而未决，人们对核能危害的担心就会与日俱增。注

福岛核事故

2011年3月11日，日本发生了有史以来最大的一次地震——东日本大地震。在地震过去41分钟后，又发生了大规模海啸。雪上加霜的是，位于东京东北163英里处的福岛第一核电站发生了严重的核泄漏事故。地震导致反应堆紧急关闭，海啸破坏了输电线路，导致核电站的场外供电系统瘫痪。此外，海啸还摧毁了包括柴油发电机在内的现场备用电源与海水冷却系统。注

当时发生的具体情况并不是各方争论的焦点，他们关注的是这些情况为什么会发生。日本政府提交给国际原子能机构的报告称，福岛核事故与另外两起核事故（三里岛核事故和切尔诺贝利核事故）不同，因为福岛核事故是在大规模的自然灾害之后发生的。报告随后详细阐述了诸如“加强对地震和海啸的防范措施”、“保证电力供应”和“确保可靠的冷却措施”等解决方案。注

日本国民议会成立的独立调查委员会给出的回答更加直接，它是“日本成为立宪国家后第一个由国民议会特许成立的独立委员会”，这成为衡量事故严重性的一个指标。委员会的主席在调查报告的一开头就提出了批评意见，目标直指核电的所有利益相关方，包括政府、监管机构、公用事业公司（东京电力公司）。这位主席称，这次事故不是“自然灾害”，而是“人为灾难”。而且，这是一场“可以且应该被预见到并加以阻止”的灾难。他尖锐地指出：“尽管十分痛心，但我们必须承认，这是一场‘日本制造’的灾难。它的根本原因在于日本文化中根深蒂固的习俗：条件反射式的服从，不愿意质疑权威，……以及岛国劣根性。”注

这种批评意见不只是存在于报告的引言部分，报告正文的措辞也很严厉，而且内容更加具体。最终，委员会给出了一个比较老套的原因——规制俘虏。政府、监管机构和东京电力公司关注的是核能推广，而不是核安全。对沦为规制俘虏的担忧，似乎会随着核能成为官方技术而变得越发严重。这种担忧凸显了对官方技术的爱国主义宣传与对安全生产的严格监管之间的区别。[注]

核能留给世人的遗产

核能有着其他事物难以望其项背的显赫出身，它植根于爱因斯坦的令人叹服的科学研究和美国的曼哈顿计划。从这个意义上讲，核能可能标志着一个时代的回归，让我们有机会体验到富兰克林时代层出不穷的科学发现带来的激动人心的感觉。然而，伟大的科学并不足以使一项技术取得成功，从一开始核能就跟危机时代联系在一起。原因之一在于，这项科学研究首先被应用于制造核武器。核能和核武器之间的联系即使在今天也会成为头条新闻，比如在关于伊朗核计划的激烈辩论中，人们为核能是不是通向核武器的道路而争论不休。其他任何发电技术与武器和战争之间都没有如此明显的联系。

把核能划归为危机时代的产物的另一个原因是，人们担心受到核事故的伤害。尽管理查德·穆勒在《未来总统的物理课》一书中对核污染的危害进行了冷静、清晰的风险评估，但是1979年的三里岛核事故和1986年的切尔诺贝利核事故证实了公众的担心，即核能有可能导致其他类型的危害。没有任何历史事件比肖哈姆核电站被关闭更能反映出人们对核事故危害的担忧。耗资55亿美元的肖哈姆核电站在投产之前，就因为公众的担心而被关闭和拆除。2011年日本福岛核事故进一步证明公众的担心和恐惧是有道理的。实际上，这把核事故的危害等级提升到了“黑天鹅事件”的水平。根据经济学家、学者纳西姆·尼古拉斯·塔勒布的定义，黑天鹅事件是指发生可能性极小，但一旦

发生就会导致灾难性后果的风险。核事故的黑天鹅事件使核电技术有别于其他技术，并被彻底地划归为危机时代的产物。

考虑到以上问题，我们不禁要问核能为什么会崛起呢？核能是如何占据美国20%的电力市场份额的呢？科恩的解释似乎与真相最为接近。他认为核能被视为一种“官方技术”，是核能崛起的原因。官方技术通常会受到广泛推荐，为各种各样的目标服务。对于核能来说，一个目标是成为“冷战”时期的经济武器，展现美国的经济优势；另一个目标是成为“冷战”时期的军事武器。

鉴于核能在“冷战”时期扮演的双重角色，我们可以看出几乎没有人关注核能是不是最适合纳税人的电力技术这个基本问题，因为在为美国电力行业挑选技术时，低成本、低风险和可靠性高等通常是主要的衡量标准。由于成本不断上升，核能在与其他发电技术的竞争中失去了优势。这种转变早在三里岛核事故发生之前就开始了，它被指定为官方技术更是加剧了转变的速度。

由于占据美国20%的电力市场份额，核能已经“大而不能倒”了。原因在于，要废止一种承担相当一部分发电任务的能源，需要付出非常大的代价。此外，除了将核废料就地储存以外，美国还没有找到其他的处理方法。最后，核能不会排放温室气体的特点对环境治理具有非常深远的意义，目前有人正试图将核能再次成为官方技术。

---

1. Dwight Eisenhower, “Atoms for Peace Speech,” Dwight D.Eisenhower Presidential Library,Museum and Boyhood Home,December 8,1953,accessed October 1,2016, <http://www.eisenhower.archives.gov/all_about_ike/speeches/atoms_for_peace.pdf>.
2. “Nuclear Reaction: Why Do Americans Fear Nuclear Power?” PBS Frontline,accessed October 1,2016, <http://www.pbs.org/wgbh/pages/frontline/shows/reaction/etc/faqs.html>.

3. John W. Finney, “Rickover, Father of Nuclear Navy, Dies at 86,” New York Times, July 9, 1986, accessed October 1, 2016, <http://www.nytimes.com/1986/07/09/obituaries/rickover-father-of-nuclear-navy-dies-at-86.html?pagewanted=all>.

4. “What Is U.S. Electricity Generation by Energy Source?” Energy Information Administration, updated April 1, 2016, accessed October 1, 2016, <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=427&t=3>; Steve Hargreaves, “First New Nuclear Reactors OK’d in over 30 Years,” CNN Money, February 9, 2012, accessed October 1, 2016, <http://money.cnn.com/2012/02/09/news/economy/nuclear_reactors/>; “The Nuclear Renaissance,” World Nuclear Association, updated September 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/the-nuclear-renaissance.aspx>; John D. Sutter, “Bill Gates and the ‘Nuclear Renaissance,’” CNN, February 17, 2010, accessed October 1, 2016, <http://www.cnn.com/2010/TECH/02/17/bill.gates.nuclear/>.

5. Richard A. Muller, Physics for Future Presidents: The Science Behind the Headlines (New York: W. W. Norton & Company, 2008), 125–26; “The Future of Nuclear Power,” MIT, 2003, 102, accessed October 1, 2016, <http://web.mit.edu/nuclearpower/>.

6. Muller, Physics for Future Presidents, 155–58; “Uranium Enrichment,” United States Nuclear Regulatory Commission, July 19, 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.nrc.gov/materials/fuel-cycle-fac/ur-enrichment.html>; “The Future of Nuclear Power,” 102; “Uranium: Its Uses and Hazards,” Institute for Energy and Environmental Research, updated May 2012, accessed October 1, 2016, <http://ieer.org/resource/factsheets/uranium-its-uses-and-hazards/>.

7. Muller, Physics for Future Presidents, 156–59; “Uranium Enrichment,” United States Nuclear Regulatory Commission.

8. “Key Excerpts of the Joint Comprehensive Plan of Action (JCPOA),” White House, July 14, 2015, accessed October 1, 2016, <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/07/14/key-excerpts-joint-comprehensive-plan-acti-jcpoa>.

9. “Atoms for Peace Speech.”

10. “Atoms for Peace Speech.”

11. “Atoms for Peace Speech.”

12. Gordon Dean, “Atoms for Peace: An American View,” International Journal 9, no. 4 (1954): 254–56.

13. Robert McKinney, “Atomic Energy: Its Contribution to World Peace through Economic Self-Help,” Proceedings of the Academy of Political Science 26, no. 3 (1957): 266, 269.

14. J ohn Krige, “Atoms for Peace, Scientific Internationalism, and Scientifi Intelligence,” Osiris, 2nd ser., vol. 21 (2006): 180–81.

15. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” Navigant Consulting, July 2013, 9–11, 12–13, accessed October 1, 2016, <http://pubs.naruc.org/pub/536D6E09-2354-D714-5175-4F938E94ADB5>; Willis L. Shirk, “ ‘Atoms for Peace’ in Pennsylvania,” Pennsylvania Heritage 35, no. 2 (2009), accessed October 1, 2016, <http://www.phmc.state.pa.us/portal/communities/pa-heritage/atoms-for-peace-pennsylvania.html>; “Shippingport Atomic Power Station,” Historic American Engineering Record, National Park Service, HAER No. PA-81, 8, accessed October 1, 2016, <http://cdn.loc.gov/master/pnp/habshaer/pa/pa1600/pa1658/data/pa1658data.pdf>.

16. Shirk, “ ‘Atoms for Peace’ in Pennsylvania”; William Beaver, “Duquesne Light and Shippingport: Nuclear Power Is Born in Western Pennsylvania,” The Western Pennsylvania Historical Magazine 70, no. 4 (October 1987): 339; Ernest Sternglass, Secret Fallout: Low-Level Radiation from Hiroshima to Three-Mile Island (New York: McGraw-Hill, 1981), 104.

17. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 13–17, 19.

18. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 23.

19. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 23–24. ($693/$1,381); Ibid. ($525/$1,218).

20. E. E. Kintner, “Admiral Rickover’s Gamble.” Atlantic, January 1, 1959, accessed October 1, 2016, <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/1959/01/admiral-rickovers-gamble/308436/>; Jason Reagle, “The First Icex: A Historical Journey by USSNautilus (SSN-571),” Undersea Warfare 40, Summer 2009, accessed October 1, 2016, <http://www.public.navy.mil/subfor/underseawarfaremagazine/Issues/Archives/issue_40/nautilus.html>; Shirk, “ ‘Atoms for Peace’ in Pennsylvania.”

21. Kintner, “Admiral Rickover’ s Gamble” ;Scott Frickel, “Engineering Heterogeneous Accounts: The Case of Submarine Thermal Reactor Mark-I, ” Science,Technology & Human Values 21,no.1 (1996): 36 - 39.

22. Kintner, “Admiral Rickover’ s Gamble.”

23. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 12.

24. Frickel, “Engineering Heterogeneous Accounts,” 39 - 40;Eric.P.Loewen, “The USSSeawolf Sodium-Cooled Reactor Submarine,” American Nuclear Society,May 17,2012.

25. Frickel, “Engineering Heterogeneous Accounts,” 42,48.

26. J ohn W.Crawford and Steven L.Krahn, “The Naval Nuclear Propulsion Program: A Brief Case Study in Institutional Constancy,” Public Administration Review 58,no.2 (1998): 159;Robin Cowan, “Nuclear Power Reactors: A Study in Technological Lock-In,” The Journal of Economic History 50,no.3 (1990): 541.

27. Steve Cohn, “The Political Economy of Nuclear Power (1945 - 1990): The Rise and Fall of an Official Technology,Journal of Economic Issues 24,no.3 (1990):800;Eyder Peralta, “U.S.Regulators Approve First Nuclear Power Plant in a Generation,” NPR,February 9,2012,accessed October 1,2016,<http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2012/02/09/146646228/u-s-regulators-approve-first-nuclear-power-plant-in-a-generation>; “Information Digest,2014 - 2015:Appendix A: U.S.Commercial Nuclear Power Reactors—Operating Reactors,” Nuclear Regulatory Commission,August 2014,accessed October 1,2016, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1350/>.

28. “Emergency Preparedness at Nuclear Power Plants,” United States Nuclear Regulatory Commission,April 2014,accessed October 1,2016, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/emerg-plan-prep-nuc-power.pdf>; “Power Reactors,” United States Nuclear Regulatory Commission,updated June 28,2016,accessed October 1,2016, <http://www.nrc.gov/reactors/power.html>.

29. Charles Komanoff,Power Plant Cost Escalation: Nuclear and Capital Costs,Regulation,and Economics (New York: Van Nostrand Reinholdt Publishing,1981),16 - 17,20; “Operational & Long-Term Shutdown Reactors,” International Atomic Energy Agency,updated September 24,2016,accessed October 1,2016, <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry

.aspx>; “World Statistics,” Nuclear Energy Institute, May 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.nei.org/Knowledge-Center/Nuclear-Statistics/World-Statistics>; “International Energy Outlook 2016,” chap. 5, “Electricity,” Energy Information Administration, released May 11, 2016, figures 5–3, accessed October 1, 2016, <http://www.eia.gov/forecasts/ieo/electricity.cfm>.

30. Komanoff, Power Plant Cost Escalation, 24–26.

31. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 34, 58.

32. Cohn, “The Political Economy of Nuclear Power,” 781–83.

33. “Three Mile Accident,” World Nuclear Association, January 2012, accessed October 1, 2016, <http://www.world-nuclear.org/info/Safety-and-Security/Safety-of-Plants/Three-Mile-Island-accident/>.

34. “Three Mile Accident.”

35. J ohn G. Kemeny, “Report of the President’s Commission on the Accident at Three Mile Island,” 1979, 1, 8.

36. Kemeny, “Accident at Three Mile Island,” 7. Emphasis omitted.

37. Kemeny, “Accident at Three Mile Island,” 18–19; “Backgrounder on the Three Mile Island Accident,” United States Nuclear Regulatory Commission, December 12, 2014, accessed October 1, 2016, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html>; “Three Mile Island: The Inside Story,” Smithsonian Natural Museum of American History, accessed October 1, 2016, <http://americanhistory.si.edu/tmi/tmi12.htm>.

38. “Emergency Preparedness at Nuclear Power Plants”; “Backgrounder on the Three Mile Island Accident.”

39. Clifford D. May, “Shoreham, Despite Plan to Scrap It, Gains Full License,” New York Times, April 21, 1989, accessed October 1, 2016, <http://www.nytimes.com/1989/04/21/nyregion/shoreham-despite-plan-to-scrap-it-gains-full-license.html>; John Rather, “Planning the Fate of a Nuclear Plant’s Land,” New York Times, January 1, 2009, accessed October 1, 2016, <http://www.nytimes.com/2009/01/04/nyregion/long-island/04shorehamli.html?_r=0>.

40. “Introduction & History of the Shoreham Nuclear Power Plant,” Long Island Power Authority, accessed September 4, 2013, <http://www.lipower.org/shoreham/history.html>.

41. J erry Ross and Barry M.Staw, “Organizational Escalation and Exit: Lessons from the Shoreham Nuclear Power Plant,” The Academy of Management Journal36,no.4 (August 1993): 708,accessed October 1,2016, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.657.7195&rep=rep1&type=pdf>.

42. Dennis Hevesi, “Nora Bredes,Who Fought Long Island Nuclear Plant,Dies at 60,” New York Times,August 22,2011,accessed October 1,2016,<http://www.nytimes.com/2011/08/23/nyregion/nora-bredes-60-dies-fought-shoreham-nuclear-plant.html>.

43. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 137.

44. “Processing of Used Nuclear Fuel,” World Nuclear Association,September 2014,accessed October 1,2016,<http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Fuel-Recycling/Processing-of-Used-Nuclear-Fuel/>;William F.Shughart II, “Why Doesn’t U.S.Recycle Nuclear Fuel?,” Forbes,October 1,2014,accessed October 1,2016, <http://www.forbes.com/sites/realspin/2014/10/01/why-doesnt-u-s-recycle-nuclear-fuel/#78330bfb7db4>.

45. “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 136–37;Ross and Staw, “Organizational Escalation and Exit,” 708.

46. Kim Cawley, “The Federal Government’s Responsibilities and Liabilities Under the Nuclear Waste Policy Act,” Congressional Budget Offi,December 3,2014,1,accessed October 1,2016, <https://www.cbo.gov/sites/default/files/114th-congress-2015-2016/reports/51035-NuclearWaste_Testimony.pdf>; “Assessment of the Nuclear Power Industry,” 138.

47. “The Officia l Repor tofthe Fukushim a Nuclea r Acciden t Independen Investigation Commission,” National Diet of Japan,2012,12,accessed October 1,2016, <https://www.nirs.org/fukushima/naiic_report.pdf>; “Additional Report of Japanese Government to IAEA—Accident at TEPCO’s Fukushima Power Stations,15 September 2011,” International Atomic Energy Agency,5,accessed October 1,2016, <https://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/additional-japan-report>.

48. “Additional Report of Japanese Government to IAEA,” 25–26,31.

49. “The Officia l Repor tofthe Fukushim a Nuclea r Acciden t Independen Investigation Commission,” 7,9,20.

50. “The Officia l Repor tofthe Fukushim a Nuclea r Acciden t Independen Investigation Commission,” 7,9,20.

51. Nassim Nicholas Taleb,The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable (New York: Random House,2007).

第14章　蕾切尔·卡森的《寂静的春天》

从前，在美国中部有一个小镇，那里的万物看来和周围的环境都相处得十分和谐。……直到许多年前的一天，一个奇怪的阴影遮盖了这个地区……不是魔法，也不是敌人的活动使这个受损害的世界的生命无法复苏，而是人们自作自受。

——蕾切尔·卡森（1962）注

蕾切尔·卡森的畅销书（包括1962年出版的最著名作品《寂静的春天》）中并没有涉及电的内容，但是鲜有人能超越她对电力行业的影响力。通过《寂静的春天》，卡森发起了现代环境保护运动，让我们更深入地认识到这个世界步入了危机时代。注

卡森的影响力体现在很多方面，但最重要的是她的作品。卡森在写《寂静的春天》之前，出版过三本关于自然和海洋的畅销书。她的文笔非常优美，然而如果一味追求《寂静的春天》带给我们美的享受，就大错特错了。卡森认为，美国政府对致命杀虫剂滥用的现象听之任之，在《寂静的春天》中随处可见她对美国政府直言不讳的指责。

她通过一系列的真凭实据，揭示了自然和人类受到的伤害，她还指出企业应当承担起全部责任，这些都为她发挥影响力增加了筹码。卡森本人的性格也扩大了她的影响力。指责大企业、大政府，需要极大的勇气；而且，她当时正在与癌症做斗争，但在坚定的信念的支撑下，她毅然前往美国国会做证。

卡森发起的环境运动产生了哪些重大结果呢？在环境运动开始之前，就已经发生过一些事故，从中人们可以清楚地看到环境污染的危害。人们把这些事故轻描淡写地称作“事件”，但它们其实都是极其严重的空气污染事件，导致多座城市（包括宾夕法尼亚州的多诺拉镇、伦敦、纽约等）的许多市民生病或死亡。1970年，美国出台了《清洁空气法》，这部法案建立了空气污染管理的命令—控制机制，规定企业（例如大型发电厂）必须控制哪些空气污染物的排放，以及必须采用哪些控制技术。1990年，老布什总统签发的《清洁空气法》修正案，以基于市场的监管取代了命令—控制机制。2009年哥本哈根世界气候大会达成的《联合国气候变化框架公约》的核心内容——“配额交易”机制，就是最著名的基于市场的监管措施。现在，命令—控制监管机制仍然占据主导地位，基于市场的监管机制也站稳了脚跟。

卡森对这些后来的重大举措的促进作用主要体现在她倡导环境保护的种种行为上，包括文笔优美的作品、给出令人信服的案例证据和呼吁将举证责任交给企业、由企业自证清白等。

畅销全球的《寂静的春天》

在《寂静的春天》第一章“明天的寓言”中，卡森用生动的语言表达了对人类未来的不乐观看法。卡森在开头写道：“从前，在美国中部有一个小镇，那里的万物看来和周围的环境相处得十分和谐。”接着，卡森开始描写那些不祥的预兆：“直到许多年前的一天，一个奇怪的阴影遮盖了这个地区，一切都开始变化。”之后，卡森说：“不是魔法，也不是敌人的活动使这个受损害的世界的生命无法复苏，而是人们自作自受。”(注)

寓言写到这里就结束了，期待在这本书中体验卡森的轻松笔调的读者也断了这个念想。接下来，卡森发起了猛烈攻击。她警告说，美国经历了划时代的改变，因为在20世纪，“有一个物种，也就是人类，获得了彻底改变周遭世界的巨大力量”。这种改变带来了“一系列的罪恶”，包括“致命物质”和人为污染。卡森极具战略眼光地将现代化学药品与当时最令人恐惧的核武器联系在一起。滴滴涕（DDT）成为卡森攻击最频繁、最猛烈的化学药品，她还嘲讽地提及滴滴涕的发明者、瑞士化学家保罗·穆勒（Paul Müller）获得诺贝尔奖一事。注

对大自然的伤害

在随后几章中，卡森向读者一一介绍了受到损害的自然元素：地表水、土壤、鸟类和其他多种生物。在回顾了1960年的美国鱼类和野生动物管理局的报告后，卡森总结说，地表水受到了“普遍污染”。为了防治荷兰榆树病而大面积喷洒滴滴涕，结果造成大量知更鸟死亡，因为知更鸟的主要食物是榆树下草地里的蚯蚓。加拿大政府用滴滴涕对付云杉蚜虫，却让米拉米奇河的鲑鱼受到无妄之灾，数量大量减少。卡森回忆说，1956年，为了彻底消灭舞毒蛾，“宾夕法尼亚州、新泽西州、密歇根州和纽约州，有接近100万英亩的土地被喷洒了滴滴涕”。长岛的居民在鸟类学家罗伯特·墨菲（Robert Murphy）的带领下，要求法院禁止人们随意使用滴滴涕，但喷洒滴滴涕的行为仍然存在。案件最终被提交到美国最高法院，但是最高法院拒绝受理。而大法官威廉·道格拉斯（William Douglas）对此持不同意见，他说，“许多专家和相关官员都对滴滴涕的危害提出了警告，这说明本案对公众来说具有非常重要的意义”。注

卡森慷慨激昂地提出一个问题，在权衡化学药品的使用成本和效益问题上，谁拥有决策权。“是谁把甲虫可能食用的树叶放在天平的一边，然后……把被杀虫剂杀死的鸟儿的冷冰冰的尸体放在另一边

呢？”卡森回答道，做决策的是政府官僚和企业，而数百万可能持不同意见的人却在忙着他们的日常琐事。注

对人类的伤害

在卡森看来，对大自然的伤害足以让人们下定决心停止使用化学药品。然而，对许多读者来说，包括当时的读者和现在的读者，人类受到的伤害才更有说服力，因此卡森也提供了这方面的有力证据。她引用了美国食品药物监督管理局的药理学专家阿诺德·雷曼（Arnold Lehman）博士的说法，称氯丹是“毒性最强的杀虫剂之一”。卡森说，含有氯丹的草坪治理药剂得到了广泛应用。接着，她讲述了一个故事：“一名受害者无意中把一种25%的工业溶液洒到皮肤上，40分钟内就出现了中毒症状，还没来得及进行医疗救治就死去了。”另一种化学药物异狄氏剂是“所有氯化烃中毒性最强的”，也被广泛地用作杀虫剂。委内瑞拉的一个家庭在使用含有异狄氏剂的杀虫剂之前，把家中的小男孩和狗带到屋外，并在把他们带回来之前对房屋地板进行了彻底的清洁。尽管如此，在他们回来一个小时后，那只狗就死了，到了晚上，小男孩也“失去了知觉”。用卡森的话说，这个小男孩“几乎成了一个植物人”。注

卡森说，尽管人们知道这些化学药品可能致病，甚至可能致命，但我们仍然可以很方便地得到它们，还有人在光明正大地推销它们。说到这里，她流露出强烈的鄙视意味。她说：“毒药时代已经彻底到来，任何人都可以走进一家商店购买强效致命毒药，而且不会有人询问他的用意。但是，如果在隔壁药店购买毒性小得多的药品，却有可能需要在‘毒药登记簿’上签名。”注

卡森的目的是提醒读者，并不是所有的技术进步都是好的，有些甚至可能造成严重的危害。不久之后，这个观点同样适用于电力业

务。人们再也不会不假思索地认为生产更多的电力一定是好事，电力生产可能造成的环境危害将会得到同等甚至更多的关注。

分辨危害的科学

卡森令人信服地证明，必须拥有丰富的硬科学知识，才能分辨出所有化学药品可能造成的危害。她在书中充分展示了她所掌握的相关科学知识，从而使她的控诉变得更加可信。卡森解释说，化学药品的威胁在于它们会破坏细胞产生能量的功能，因为我们的身体离不开能量。接着卡森详细描述了细胞产生能量的功能，她说，“细胞中物质转化成能量的过程是一个源源不断的过程”，其中的每个环节都是“由一种特殊的酶控制的，这种酶的功能非常单一，它只会干这一件事”。氧化作用产生的能量，“一点儿一点儿地聚集在线粒体里”。我们在学校里学到的“强大的线粒体”，其实就是“一小团一小团的酶”，它们是“人体的动力源，（人体内）产生能量的反应大多是在这里完成的”。辐射和杀虫剂、除草剂等化学药品，会对人体内的这种能量产生机制造成不可逆转的伤害。[注]

勇敢的一生

蕾切尔·卡森令人印象最深刻的特点是她的个人勇气，她勇敢地批评大企业和大政府。《纽约时报》记者伊丽莎·格里斯沃尔德（Eliza Griswold）的报道令人信服地展示了卡森的这个特点。尽管卡森信守承诺，保护包括知更鸟和人类在内的各种生命，但她知道癌症即将夺走她的生命。在《寂静的春天》出版一年后，格里斯沃尔德介绍了卡森当时的情况：“她56岁，正在与乳腺癌做斗争。她几乎没有告诉任何人她的病情,她接受了乳癌根治术。她的骨盆严重骨折，无法走到国会委员会面前的木桌旁就座。为了遮住光头，她戴了一顶深褐色的假发。”[注]

卡森的传记作者琳达·李尔（Linda Lear）称，卡森是一个“坚定的革命者，也是一位令人佩服的改革者”。1907年，卡森出生在匹兹堡的北部小镇斯普林达尔，她的母亲玛丽亚“对她的智力发展和世界观的养成产生了非常重要的影响”。漫步在阿勒格尼河附近的“树林中、湿地和河积平原上”，她对大自然的兴趣和尊重与日俱增。1925年，卡森考入宾夕法尼亚女子学院（现在是查塔姆大学）。上学期间，她获得了著名的伍兹霍尔海洋研究所颁发的奖学金。之后，她获得约翰·霍普金斯大学的动物学硕士学位。她在美国国家海洋渔业局找到了她人生中的第一份工作，之后调职商务部。接下来，她在美国鱼类和野生动物管理局工作了16年，于1949年当上管理局下属所有出版物的主编，卡森从此开始展现出她的文学天赋。[注]

1941年，她出版了她的海洋自然奇观三部曲中之一《在海风的吹拂下》（*Under the Sea Wind*）。随后，她获得了威斯汀豪斯科学著作奖和古根海姆奖。三部曲之二《我们周围的海洋》（*The Sea Around Us*）于1951年出版。这本书在《纽约客》（*New Yorker*）杂志上连载，获得了美国国家图书奖，帮助卡森赢得了国际声誉。这本书还入选了“每月一书俱乐部”，长踞《纽约时报》畅销书排行榜近两年。1952年，卡森从美国鱼类和野生动物管理局退休，成为一名全职作家。1955年，她完成了三部曲的最后一部《海的边缘》（*The Edge of the Sea*）。[注]

写作上的成就赋予了她说话的技巧、名声和可信度，她在美国鱼类和野生动物管理局的多年工作经验则给了她与自然打交道的丰富体验。在她创作每本书时，这些都起到了非常重要的作用。李尔称，卡森多年未曾离开的“那个政府机构，从20世纪50年代中期开始，就一直对化学药品的广泛应用感到担心”。因为工作关系，卡森已经非常清楚在日常生活和自然环境中有毒化学药品的日益泛滥所造成的可怕影响。[注]

《寂静的春天》轰动一时，出版后不久就卖出了60万册，并成为经久不衰的著作。（截至目前，已售出200多万册。）然而，我们不应忘记《寂静的春天》是对三个强大群体的控诉：尝试制造化学药品的公司，使用这些化学药品的政府，以及声称这些化学药品没有危害的科学家。当然，也有人持反对意见。一个农业游说团体花了2.5万美元来驳斥卡森的指控，一家名叫维尔斯科的化学公司则以诽谤罪威胁卡森的出版商霍顿·米夫林出版公司。[注]

然而，卡森的著作帮她赢得了更强大的支持者。约翰·肯尼迪总统认为这是一个非常重要的政治问题，并委派他的科学顾问杰罗姆·威斯纳（Jerome Wiesner）调查卡森的指控。1963年5月，参议院举行听证会的同时，肯尼迪总统发表了咨询报告。同样重要的是，哥伦比亚广播公司于1963年4月13日在黄金时段播出了《蕾切尔·卡森的<寂静的春天>》专题节目。尽管卡森病情严重，但她沉着冷静、能言善辩，在与代表化工业出战的那位激动的科学家展开辩论时，似乎胜券在握。一位产业科学家甚至断言，如果杀虫剂的使用受限，人类可能会重新回到“黑暗时代”。[注]

在1963年6月召开的参议院听证会上，来自康涅狄格州的民主党参议员亚伯拉罕·里比科夫（Abraham Ribicoff），借用亚伯拉罕·林肯对《汤姆叔叔的小屋》作者哈丽叶特·比切·斯托说的话，表示了对卡森的欢迎：“你就是开启这一切的女士。”“这一切”指的是现代环保运动。卡森把环境问题变成了选民关心的政策问题，如果忽视潜在的风险，单纯强调“大规模”“更多”“更新”，选民们是不会接受的。这种新观点也被应用于电力行业，环境问题很快就成为电力行业的各种决策活动必须考虑的一个主要因素。[注]

1964年4月14日，蕾切尔·卡森离开人世，距离参议院听证会结束还不足一年时间。

严重的空气污染事件

在《寂静的春天》出版前后发生的一些重大事件表明，空气污染可能会导致人生病甚至死亡。第一个将空气污染送上美国媒体头版头条的事件发生在1948年，它造成宾夕法尼亚州多诺拉镇6000人患病，20人死亡。1952年，伦敦大雾造成至少4000人死于呼吸道和心脏疾病。在20世纪60年代，媒体还报道了其他污染事件，比如1966年在纽约市造成169人死亡的大雾。注

所有这些事件都是同一个罪魁祸首造成的，当然，从锌厂到家用炉灶都排放了空气污染物。此外，如果气候条件使得地表空气温度低于其上方空气，地表空气就会被限制在原地，无法流动，从而形成所谓的逆温层。上方的暖空气就像一个“盖子”，牢牢地罩住受到严重污染的地表空气。结果，在温度允许空气流动之前，人们只能长时间地呼吸受污染的空气。与此同时，河床、山谷和高山等地形增加了空气污染的严重程度。从这些事件可以看出严重的空气污染可以造成哪些损害，还可以看出了解污染的具体情况、起因以及制定相应的措施是一项非常复杂的任务。

1948年多诺拉烟雾事件

多诺拉是一个位于匹兹堡东南30英里的工业小镇，旁边是莫农加希拉河。多诺拉的锌厂是这次空气污染事件的主要导火索，这座工厂建于1915年，隶属于美国钢铁公司旗下的美国粗钢及线材公司，服务的主要客户是炼钢厂。1994年，政策分析师林恩·施奈德（Lynne Snyder）指出，空气污染问题并不新鲜，美国粗钢及线材公司投产后不久就因为污染问题而于1918年收到了第一张罚单，之后又收到了更多罚单。注

1948年10月26日，星期二，“致命的神秘烟雾”开始袭扰多诺拉。到了星期五，就有人住院接受治疗了。医生呼吁政府疏散患有心脏或呼吸系统疾病的人群，但由于大雾和道路拥堵，疏散无法进行。沃尔特·温切尔（Walter Winchell）率先报道了这个情况，随后全美各地的媒体也做了报道。当地卫生局的威廉·罗根斯（William Rongaus）医生坐着救护车，在黑暗的小镇上来回奔波，把病人送到医院，把死去的人送到殡仪馆。事后罗根斯说，当时发生的事情无异于“赤裸裸的谋杀”。[注]

美国粗钢及线材公司聘请了以凯特灵实验室的罗伯特·基欧（Robert Kehoe）博士为首的科学家，帮助他们推卸责任。基欧说：“问题的关键在于控制空气污染的成本。在大多数情况下，污染是可以控制的，但是成本过高。”最后，基欧给出的建议不是控制空气污染物的排放，而是调整锌厂的运行时间，以避开危险的天气条件。[注]

辛辛那提大学医学院的克拉伦斯·米尔斯（Clarence Mills）博士也是早期研究多诺拉烟雾事件的人之一，他对政府卫生部门的报告提出了几点反对意见。最后，米尔斯说，多诺拉烟雾事件是“工业空气污染对美国人实施的第一起大规模谋杀”。尽管美国公共卫生署的一份研究报告“减轻”了锌厂的责任，但多诺拉烟雾事件还是表明了空气污染的危险性，也引发了是否需要采取应对措施以及如何减少危害的讨论。[注]

1952年伦敦烟雾事件

可悲的是，诗人雪莱于1839年在“地狱是个伦敦般的城市，人口稠密，迷雾阵阵”那首诗中描写的情景，丝毫不差地复现于1952年12月初的伦敦，这次世界上最严重的空气污染事件导致4000人丧生。这次事故有一个典型的罪魁祸首：逆温层导致受污染的空气滞留在地表附近。伦敦的空气污染物排放量很高，因为家庭炉灶主要以煤炭做燃

料。尽管伦敦是一个著名的“雾都”，但高排放量带来的后果也是非常可怕的。由于能见度太差，就连在室内上演的戏剧《茶花女》也不得不提前结束；医院里的护士也看不到“病房另一头的情况”；殡仪馆称，棺木紧缺。[注]

伦敦烟雾事件告诉我们，估算单起事件造成的死亡人数并不是一件容易的事。多年来，人们普遍认为1953年的头几个月伦敦死亡人数激增是由流行性感冒造成的。然而，2001年，研究人员对此产生了质疑。当时在约翰·霍普金斯大学任教的米歇尔·贝尔（Michelle Bell）教授，以及当时在卡内基－梅隆大学担任客座教授的德芙拉·李·戴维斯（Devra Lee Davis），都认为更准确的死亡人数远不止4000人。“由于1952年伦敦大雾的持续影响，1952年12月至1953年2月伦敦的死亡人数（实际上）增加了约12000人。”[注]

从另一个角度研究伦敦烟雾事件这个独特而真实的案例，可以帮助我们更好地理解空气污染是如何导致人死亡的。2003年，研究人员用1952年伦敦烟雾事件的尸检样本来支撑后来形成的一种观点，即对人类健康威胁最大的空气污染物是可吸入（或微小）颗粒物。最小的可吸入颗粒物是PM 2.5（细颗粒物），它的大小不超过2.5微米。一英寸等于25000微米，由此可见这种颗粒物有多小。研究人员注意到，“1952年伦敦发生的大规模死亡事件此后再未发生”，因此他们认为这些尸检样本是可以解释空气污染危害的独特证据，证明PM 2.5可能是一个隐形杀手。事实证明，对PM 2.5的关注是现行电力行业环境保护法规的一项主要内容。[注]

1953年，纽约市遭遇了一次空气污染事件。1966年感恩节的那个星期，悲剧再次上演。就像其他空气污染事件一样，纽约市也出现了气温逆增现象，空气污染程度急剧上升。在最糟糕的那三天里，二氧化硫的浓度达到亿分之46，是监管机构设定的标准值的三倍，共造成169人死亡。[注]

1970年的美国《清洁空气法》

20世纪60年代，在蕾切尔·卡森的《寂静的春天》和越来越多的空气污染事件（导致的死亡人数激增）的推动下，联邦政府开始实施更直接、更积极的环境监管政策。美国国会于1963年通过的《清洁空气法》扩大了联邦政府“执行各州现有法律的权力”，并促进各州制定空气污染控制方面的法律。此外，联邦政府也开始对州际污染实施监管。1965年，国会通过了《机动车空气污染控制法》，将新车气体排放标准纳入了监管范围。

随后，国会又出台了更多法案。1967年，国会通过了《空气质量法》，允许联邦政府确定“空气质量控制区域”和“污染控制推荐技术”。然而，由于这些法律没有取得多少可衡量的结果，总统和国会最终采取了积极的行动，赋予联邦政府空气污染监管的“首要责任”。1970年，尼克松总统成立美国国家环境保护局（EPA）；同年，国会通过了《清洁空气法》。

2006年，麻省理工学院的朱迪思·莱泽（Judith Layzer）教授在他的《环境问题》（*The Environmental Case*）一书中回顾了这段历史。他说：“20世纪70年代初环境政策数量激增，并不是对全国空气和水资源状况突然恶化做出的反应。”相反，这是对环境问题“重新定义或重新表述”的结果。政府的监管政策迫使政客们采取行动，也得到了公众的支持和欢迎。莱泽指出，卡森的《寂静的春天》和保罗·埃尔利希（Paul Ehrlich）的《人口炸弹》（*The Population Bomb*）是影响公众舆论和推广环保主义的两部伟大的作品。加州海岸原油泄漏事件、俄亥俄州凯霍加河油污大火事件，以及对含汞海产品的日益关注，都对现代环境保护运动起到了促进作用。最后，一群更加富裕、受过更好教育的民众也对环境监管提出了更高的要求。环保意识在1970年4月22日的第一个地球日达到了高潮。

根据当时的政治局面，尼克松预计他将在1972年的大选中面对缅因州参议员埃德蒙·马斯基（Edmund Muskie）的竞争，因此他提议成立美国国家环境保护局和颁布1970年的《清洁空气法》。事实上，马斯基也提出了一个竞争性法案，其中包括在1975年之前将新汽车的尾气排放量削减90%的严厉措施。在参议院通过《清洁空气法》之后，尼克松于1970年12月31日签署了该法案。2007年，分别在杜克大学和斯坦福大学任法学教授的詹姆斯·萨尔兹曼（James Salzman）和巴顿·汤普森（Barton Thompson），在他们合著的《环境法与政策》（*Environmental Law and Policy*）一书中称1970年的《清洁空气法》是一部“与众不同的”“历史性的”“大获成功的法律”。他们认为，这部法律“针对一系列污染物和污染源建立了统一的国家标准”，是“美国第一部真正全面的污染法”。海伦·英格兰姆（Helen Ingram）认为，1970年的《清洁空气法》是一个重大飞跃，而不仅仅是政策上的“进化”。随着立法进程的推进，空气污染控制的目标越来越高，而且不仅限于用现有的技术或有限的成本增长所能实现的那些目标。[注]

1970年的《清洁空气法》确立了多级监管制度，首先是建立了一级和二级“国家环境空气质量标准”（NAAQS）。一级标准旨在维护公共卫生，二级标准旨在保护能见度和生态环境。国家环境空气质量标准共针对6类“标准污染物”：烟雾（或臭氧，即O_3）、氮氧化物（NO_x）、一氧化碳（CO）、二氧化硫（SO_2）、铅、烟尘或“微小颗粒物”。该法案要求各州制订实施计划并在1975年之前达到该标准，如果州的实施计划未能获得美国环保局的批准，该州就必须执行联邦政府制订的实施计划。该法案还为发电厂和其他制造类工厂制定了《新污染源执行标准》。联邦政府为新污染源制定管理办法，说明各州只能管理那些旧的设施。[注]

尽管环境法规的出台得到了越来越多的支持，但这部法案的实施并非一帆风顺。截至1975年，没有一个州的实施计划获得批准。1977

年的《清洁空气法》以法律的形式将大多数州的最后达标期限延后至1982年，加利福尼亚等州的最后达标期限为1987年。此外，实施计划还必须考虑对就业的影响和更广泛的经济影响。不过，这种监管制度的任何一个方面都对电力供应产生了影响。发电厂是一个明确直接的关注点，因为它们排放空气污染物，而且可以通过政治手段加以处置。注

1999年的《清洁空气法》

回顾1990年的《清洁空气法》，麻省理工学院的理查德·施马兰西（Richard Schmalensee）教授和哈佛大学的罗伯特·斯塔文斯（Robert Stavins）教授合作发表了一篇有趣的文章，题目为“二氧化硫配额交易机制：令人啼笑皆非的大规模政策实验史”。1990年的《清洁空气法》的第4条是一个酸雨控制计划，两位作者称，这个计划是“一个以市场为基础的大规模的环境政策实验”。它是第一个大规模“配额交易”计划，也是一个“非常新颖”的计划。酸雨是污染物（二氧化硫、一氧化氮）在大气中发生反应生成硫酸和硝酸等酸性物质所造成的，对森林、湖泊和河流均有破坏作用。20世纪80年代，越来越多的人开始关注酸雨的负面影响。注

酸雨控制计划的实施分为两个阶段，目标是电力行业。第一阶段（1995—1999年）重点针对二氧化硫排放量最高的263座煤电站。从2000年开始的第二阶段则对更多的发电厂实施管理，共涉及3200座发电厂。酸雨控制计划的目标是在1980年的基础上将二氧化硫排放量减少50%。为了实现这一目标，他们采取了一种新型的“配额交易”机制。该机制规定了二氧化硫总排放量的上限，而且随着时间的推移，排放量上限将稳步减少，直至实现50%的降幅目标。二氧化硫的排放配额，即允许排放的二氧化硫数量，以吨为单位被分配到现有的各个污

染源头上。允许“交易”，是鼓励这些发电厂能以较低的成本降低排放量，然后把多余的配额出售给减排成本较高的发电厂，从而降低整个行业的减排成本。注

从酸的控制计划的实施情况来看，效果还是挺好的。施马兰西和斯塔文斯说，1990—2004年尽管燃煤发电量增加了25%，但空气污染物的排放量减少了36%。他们进一步断言，配额交易计划的减排成本要比命令—控制监管制度低得多。注

然而，重要的是，如果我们考量的不是严格意义上的减排效果，而是减少酸雨和酸性湖泊的效果，情况就大不同了。的确，这是一个具有讽刺意味的问题。酸雨控制计划也许是歪打正着，取得了令人意想不到的减排效果。两位作者说，该计划并没有解决酸雨问题，却缓解了一个越来越紧迫的新问题——PM 2.5的排放。注

第二个具有讽刺意味的问题是，减排成本的降低是由一个意料之外而且与排放没有任何关系的因素引起的：铁路运输费的监管被解除了。大多数严重污染空气的煤电站都位于密西西比河以东，而最便宜的低硫煤则来自美国西部的煤矿，具体来说是来自蒙大拿州东南部和怀俄明州东北部的粉河盆地。从矿井到电厂的运输成本提高了粉河盆地煤炭的使用成本，撤销对铁路运输费的监管使这一成本降低了50%。注

第三个具有讽刺意味的问题是，某些项目绕开了配额交易机制，却减少了二氧化硫排放量。由于这些项目降低了对排放配额的需求，到2012年配额的价格已经降至接近零的水平。正如施马兰西和斯塔文斯总结的那样：“政府可以创造一个市场，也可以毁掉这个市场。”注

看看现在的酸雨控制计划，很难将其视为毋庸置疑的成功举措，因为减少酸雨的既定目标并没有实现。配额交易机制则被证明是成功的，它还为削减减排成本的其他方法（降低铁路运输费）创造了非常便利的条件。不过，配额交易机制最后遭到了一个类似的监管机制的破坏。

对减排效果的衡量

自从《寂静的春天》引发了现代环保运动以来，50多年的时间已经过去了。再找到一本在这一领域的影响力可与之相媲美的书可能很难但要找到比卡森用来向世人发出警报的案例证据更深入的研究并不难。今天，研究人员用更严格的方法来评估死亡或疾病与空气污染之间的关系。然而，他们发布的研究报告大多是针对学术型听众的。严格的分析的确必不可少，但也会拉大街头行人与空气污染控制之间的距离。此外，在评估减排的健康效益方面仍存在很大的不确定性。

找出疾病和死亡的原因不是一件容易的事。医院或停尸间都没有正式指控疾病或死亡是由空气污染造成的。比如，在《美国医学会杂志》（*Journal of the American Medical Association*）上发表的一项关于PM2.5排放的严格研究中，作者们对他们的研究结果持谨慎、明确的态度。他们小心翼翼地说在研究中发现了一种“相关性”，但没有说这是一种因果关系。然而，他们明确地表示，这项研究为证明“长期吸入PM 2.5是导致心血管疾病的一个重要的风险因素”提供了“迄今为止最有力的证据”。研究人员还强调他们采取了种种措施，对可能影响人类健康状况的其他因素进行了控制：“在观察微小颗粒物与肺癌死亡率及心肺疾病死亡率之间的相关性时，对吸烟、身体质量指数（BMI）、饮食、职业等个体风险因素进行了控制。”除此之外，还有一个不确定的问题是：其他公共投资所产生的健康效益是否比用于减排的投资更直接、更有效？[注]

蕾切尔·卡森留给世人的遗产

蕾切尔·卡森是宣告电力行业进入危机时代的使者。她的研究表明，美国人不再单纯地考虑所有人都能负担得起的充足电力带来的好处，而开始关注电力生产对物理环境造成的危害（更令人信服的说法是，关注人类健康受到的伤害）。卡森为保护环境采取了一系列的方法，包括有说服力、感人至深的著作，大量的案例证据，用硬科学知识解释危害原理，以及呼吁将举证责任赋予企业等。更重要的是，举证责任常常意味着对人类健康危害的零风险标准，即企业必须不惜一切代价达到此标准。批评人士称，卡森的示范作用有一个严重的缺陷，即她几乎不承认她竭力反对使用的化学药品也有可能带来某种好处，而且她肯定从未考虑这种好处甚至有可能超过付出的代价。

随着时间的推移，卡森的示范作用对电力业务产生了巨大的影响，人们的注意力开始转向空气污染。在多诺拉、伦敦和纽约市发生的空气污染事件被广泛宣传之后，人们找到了清晰有力的实物证据，他们开始相信空气污染会导致疾病和死亡。尽管环境监管机构和环保人士不得不从实物证据转向不那么引人注目的统计学研究，以证明环境污染的危害性，但是减排政策已势不可当。比如，1980—2014年，美国的二氧化硫浓度降低了80%，但仍然有人提议建立监管制度，以大幅度降低电力生产中的剩余排放量，不过这些提案至今悬而未决。有趣的是，在卡森率先垂范之后，她的示范作用经过了几十年仍然存在。2006年，美国前副总统阿尔·戈尔拍摄的纪录片《难以忽视的真相》（*An Inconvenient Truth*）紧紧追随卡森的步伐，提醒人们注意全球气候变化的风险。(注)

争论的焦点已经由环保法规是否应该更加严格转变为如何才能更加严格。命令—控制监管机制是1970年的《清洁空气法》的核心内容，复杂的多级监管和层出不穷的诉讼案件是1970年的《清洁空气法》留给世人的主要遗产，空气污染物的排放量大幅度减少也是这部

法案的功劳。1990年的《清洁空气法》用基于市场的监管机制替代了命令—控制监管机制，市场的作用在于找到满足政府的减排需求的方法。由市场完成这一任务是有道理的，因为市场擅长于让供给成本最小化，但在很大程度上起主导作用仍然是政府的减排需求。

在很短的时间内，环保法规成为推动电力业务发展的一个重要因素。在后面的章节中，我们将会更清楚地看到，到2010年，环境监管已经从一个强大的因素变成电力行业中的主导因素，从新建发电厂的类型很容易就能看出这个变化。对空气污染的担忧已经深深植根于美国的文化和法律，没有哪一个电力政策是纯粹的电力政策，所有政策都包含环境方面的内容。所有的政策法规都不再关心“如何将电力成本降到最低”，而是想方设法将电力生产的危害减到最小。

---

1. Rachel Carson,Silent Spring,rev.ed.with a new introduction by Linda Lear and an afterword by Edward O.Wilson (1962;New York: Houghton Miffli Harcourt Publishing Company,repr.2002),1－3.
2. Eliza Griswold,“HowSilent Spring Ignited the Environmental Movement,”New York Times,September 21,2012,accessed October 1,2016,<http://www.nytimes.com/2012/09/23/magazine/how-silent-spring-ignited-the-environmental-movement.html?_r=0>.
3. Carson,Silent Spring,1－3.
4. Carson,Silent Spring,5,6,20.
5. Carson,Silent Spring,41,106－7,133－35,157－59.
6. Carson,Silent Spring,127.
7. Carson,Silent Spring,24,26－27.
8. Carson,Silent Spring,174.
9. Carson,Silent Spring,201－4.
10. Griswold,“HowSilent Spring Ignited the Environmental Movement.”
11. Linda Lear,“Rachel Carson’sSilent Spring,”Environmental History Review 17,no.2(1993): 23－25.
12. Lear,“Rachel Carson’sSilent Spring,” 25,27.

13. Lear, “Rachel Carson’ sSilent Spring,” 29.

14. Lear, “Rachel Carson’ sSilent Spring,” 37–38;Griswold, “HowSilent SpringIgnited the Environmental Movement.”

15. “President’ s Science Advisory Committee (PSAC): Pesticides Report,15 May 1963,” John F.Kennedy Presidential Library and Museum,accessed October 1,2016,<https://www.jfklibrary.org/Asset-Viewer/Archives/JFKPOF-087-003.aspx>;Lear, “Rachel Carson’ sSilent Spring,” 39.

16. Griswold, “HowSilent Spring Ignited the Environmental Movement”;Linda Lear,Rachel Carson: Witness for Nature (New York: Houghton Mifflin Harcourt 2009),3.

17. Leonard Greenburg,MD,et al., “Report of an Air Pollution Incident in New York City,November 1953,” Public Health Reports 77,no.1 (1962): 7,accessed October 1,2016, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1914642/>;Devra L.Davis,Michelle L.Bell,and Tony Fletcher, “A Look Back at the London Smog of 1952 and the Half Century Since,” Environmental Health Perspectives 110,no.12 (2002): A734,accessed October 1,2016, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241116/>.

18. Don Hopey and David Templeton, “In 1948,Smog Left Deadly Legacy in Donora,” Pittsburgh Post Gazette,December 12,2010,accessed October 1,2016,<http://www.post-gazette.com/news/health/2010/12/12/In-1948-smog-left-deadly-legacy-in-Donora/stories/201012120248>;Lynne Page Snyder, “The Death-Dealing Smog over Donora,Pennsylvania: Industrial Air Pollution,Public Health Policy,and the Politics of Expertise,1948–1949,” Environmental History Review 18,no.1 (1994): 117,119–120.

19. Snyder, “The Death-Dealing Smog over Donora,Pennsylvania,” 121–22.

20. Snyder, “The Death-Dealing Smog over Donora,Pennsylvania,” 124–25,129.

21. Snyder, “The Death-Dealing Smog over Donora,Pennsylvania,” 123,131–32;Clarence A.Mills, “The Donora Episode,” Science 111 (1950): 67.

22. Percy Bysshe Shelley,quoted in Geoffrey Lean, “The Great Smog of London: The Air Was Thick with Apathy,” The Telegraph,December 6,2012,accessed October 1,2016, <http://www.telegraph.co.uk/news/earth/countryside/9727128/The-Great-Smog-of-London-the-air-was-thick-with-apathy.html>.

23. Michelle L.Bell and Devra Lee Davis,“Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution,”Environmental Health Perspectives 109,supplement 3(June 2001): 389,accessed October 1,2016, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1240556/>.

24. Andrew Hunt,Jerrold L.Abraham,et al.,“Toxicologic and Epidemiologic Clues from the Characterization of the 1952 London Smog Fine Particulate Matter in Archival Autopsy Lung Tissues,” Environmental Health Perspectives 111,no.9 (July 2003): 1209–10,1213,accessed October 1,2016, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1241576/>.

25. George Holzworth,“Vertical Temperature Structure during the 1966 Thanksgiving Week Air Pollution Episode in New York City,”Monthly Weather Review 100,no.6 (June 1972): 445,448–49,accessed October 1,2016,<http://docs.lib.noaa.gov/rescue/mwr/100/mwr-100-06-0445.pdf>;Steve Tracton,“The Killer London Smog Event of December,1952: A Reminder of Deadly Smog Events in U.S.,”Washington Post,December 20,2012,accessed October 1,2016, <https://www.washingtonpost.com/blogs/capital-weather-gang/post/the-killer-london-smog-event-of-december-1952-a-reminder-of-deadly-smog-events-in-us/2012/12/19/452c66bc-498e-11e2-b6f0-e851e741d196_blog.html>.

26. J udith A.Layzer,The Environmental Case: Translating Values into Policy,Second Edition (Washington: CQ Press,2006),28.

27. Layzer,Environmental Case,29,34–37.

28. Layzer,Environmental Case,26,30–31.

29. Layzer,Environmental Case,35–37;David Gerard and Lester B.Lave, “Implementing Technology-Forcing Policies: The 1970 Clean Air Act Amendments and the Introduction of Advanced Automotive Emissions Controls in the United States,”Technological Forecasting and Social Change 72 (2005): 766,accessed October 1,2016, <http://faculty.lawrence.edu/gerardd/wp-content/uploads/sites/9/2014/02/18-TFSC-Gerard-Lave.pdf>;James Salzman and Barton H.Thompson Jr.,Environmental Law and Policy (New York: Hudson Press,2007),87–88.

30. Salzman,Environmental Law and Policy,91,94–97.

31. Layzer, The Environmental Case, 45–46.

32. Richard Schmalensee and Robert N. Stavins, “The SO_2 Allowance Trading System: The Ironic History of a Grand Policy Experiment,” Journal of Economic Perspectives 27, no. 1 (2013): 103.

33. Schmalensee, “The SO_2 Allowance Trading System,” 105–6.

34. Schmalensee, “The SO_2 Allowance Trading System,” 106–7.

35. Schmalensee, “The SO_2 Allowance Trading System,” 109–10.

36. Schmalensee, “The SO_2 Allowance Trading System,” 111.

37. Schmalensee, “The SO_2 Allowance Trading System,” 116–17.

38. C. Arden Pope III, PhD, et al., “Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality, and Long-Term Exposure to Fine Particulate Air Pollution,” Journal of the American Medical Association 287, no. 9 (March 2002), accessed October 1, 2016, <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4037163/>; for further public health issues related to fine particulate matter and air pollution, see Antonella Zanobetti and Joel Schwartz, “The Effect of Fine and Coarse Particulate Air Pollution on Mortality: A National Analysis,” Environmental Health Perspectives 117, no. 6 (June 2009), accessed October 1, 2016, <http://ehp.niehs.nih.gov/0800108>; J. G. Ayres, “The Mortality Effects of Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution in the United Kingdom,” Crown (2009), accessed October 1, 2016, <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/304641/COMEAP_mortality_effects_of_long_term_exposure.pdf>

39. “Progress Cleaning the Air and Improving People’s Health,” Environmental Protection Agency, accessed October 1, 2016, <https://www.epa.gov/clean-air-act-overview/progress-cleaning-air-and-improving-peoples-health>.

第15章　加州电力危机和安然事件

我们必须强调，尽管这些交易策略被冠以安然的名字，但是参与方不计其数，不仅限于安然公司。

——美国联邦能源管理委员会工作小组（2003年3月）注

1994年，加利福尼亚州决定改变电力行业的监管方式。旧的监管方式始于1907年塞缪尔·英萨尔在芝加哥成立的联邦爱迪生公司，到1994年已有将近90年的历史了。1996年，加州州长皮特·威尔逊（Pete Wilson）声称："我们终结了一个陈旧垄断时代，开启了一个全新的竞争时代。"加州并不是唯一一个在这个时期改变游戏规则的州，但它是第一个付诸行动也是最具挑衅性的州，这是加州的一贯风格。不幸的是，加州的新监管机制在开始运行后不久就瘫痪了。这个悲剧及其造成的后果被称为"加州电力危机"。注

同其他重要行业的崩溃一样，加州电力危机的波及面也非常广，损失的形式多种多样。在加州创造的短期或"现货"电力市场，价格急剧上涨。停电的威胁如一片乌云笼罩在全州所有消费者的头上，持续时间达数月之久。美国最大的电力公司——太平洋燃气电力公司（PG&E）申请破产保护，由于电力公司没有申请信用贷款的资格，州政府不得不接管电力采购业务。格雷·戴维斯（Gary Davis）成为加州历史上第一个在任期内被罢免的州长，是美国有史以来有此遭遇的第二人。注

关于这次危机背后的原因，通常有两种说法：第一种说法是，加州电力危机是安然公司造成的；第二种说法是，在加州解除对电力行

业的监管之后安然公司从事的肮脏交易，导致该公司倒闭。关于第一种说法，加州电力危机其实不是安然公司造成的。这次危机有三个主要原因：糟糕的市场设计，糟糕的市场环境，以及糟糕的市场行为。安然公司当然是糟糕的市场行为的一部分，但它并不是唯一一个。然而，一份备忘录详细记录了安然公司阴谋操纵加州电力市场的行为，为人们指控安然公司提供了确凿的证据。

至于第二种说法，安然公司在加州解除对电力行业的监管后所从事的肮脏交易也不是安然公司破产的直接原因。主要原因在于，安然公司的会计和财务运作过于激进，而安然的董事会和外部审计机构却未能及时发现或不愿意指出问题。

当然，不管它与电力业务有什么关系，安然的轰然倒塌都是一个大事件。安然公司于2001年12月宣告破产，这是当时美国历史上最大的破产案，涉及655亿美元的资产，安然公司跌下了神坛。安然在2001年的《财富》世界500强排行榜上位列第七，收入从2000年的400亿美元增加至1000多亿美元。安然的衰落引发轩然大波，因为几乎没有人预见到这个结局。2003年，贝萨尼·麦克莱恩（Bethany Mclean）和彼得·埃尔金德（Peter Elkind）在介绍安然公司衰落始末的畅销书《房间里最精明的人》（*The Smartest Guys in the Room*）中，用一句话巧妙地描述了鼎盛时期的安然公司：“人人爱安然”，这句话也是该书某个章节的标题。[注]

危机的起因

糟糕的市场设计

自塞缪尔·英萨尔时代以来，电力行业采用的一直是区域垄断、特许经营的方式。也就是说，美国被分成若干区域，每个区域由一家

拥有特许经营权的电力公司负责供应全部电力。这家电力公司采取“垂直一体化”模式，也就是说，该特许经营区域内的所有业务，包括发电、输电和配电，都受到该公司的控制。在取得特许经营权之后，该公用事业公司承担起为当地的所有纳税人提供数量充足、价格合理的电能的责任。这家公司在履行“电力服务义务”时，实行的是成本加成定价法，也就是在实际成本的基础上收取合理的回报。

随着加州议会于1996年9月通过1890号法令（AB1890），一切都变了。该法令的主要目的是，为解除对电力行业的监管设定标准。电力业务被“拆分”成生产、传输和调度三个部分。生产领域鼓励竞争，也就是说，用户（包括家庭和各类企业）可以自主选择供应商，这种模式被称为“零售选择”或“直接接入”。如果某个用户选择不从特定的供应商那里购买电能，当地的公用事业公司就会代表该用户从新建立的竞争性市场上购买电能。加州的竞争性市场由加州电力交易中心来管理。㊟

为了确保除现有的公用事业公司以外还有竞争者参与其中，1890号法令要求两个最大的公用事业公司至少放弃它们拥有的半数火力发电厂。最后，出于各种各样的原因，包括促进竞争、借助市场利好出售旗下资产，这些公用事业公司实际上放弃了它们拥有的所有发电厂。值得注意的是，天然气发电厂被5个独立的电力公司瓜分了。另一个重要的特征是，电能传输实现了“输电网开放”。任何发电厂都可以接入受监管的公用事业公司的长距离电能传输线路，把生产的电能输送给用户。一个名为“加州电力调度中心”的全新机构则从公用事业公司手中接管了输电系统的经营权，以确保各发电机组能享受到公平或“非歧视性”的待遇。㊟

然而，加州的实际情况远远超出了1890号法令的预期，电价问题成为这场危机的主要原因。加州解除对电力行业监管的原因是，预计电能的市场价格将始终低于每兆瓦时65美元。1890号法令要求公用事

业公司以每兆瓦时65美元的固定价格出售电力，但在新建立的竞争市场上，公用事业公司必须按照市场价格购买电力，而市场价格每天甚至每小时都在变化。一开始，现货价格远低于固定价格，但是没有人能保证这种状况一直不变。当现货价格超过固定价格时，公用事业公司就只能亏本出售电能，其后果显而易见。[注]

电力行业中备受尊敬的专家、麻省理工学院的经济学教授保罗·乔斯科（Paul Joskow）在《牛津经济政策评论》（*Oxford Review of Economic Policy*）上发表了一篇题为“加州能源危机”的文章，指出加州危机“迟早会发生”。是的,他没有说错。1998—1999年，日前和实时市场所有时段的加权平均电价都非常低，大约为每兆瓦时30美元。到2000年5月，平均电价上涨到每兆瓦时50美元。同年6月，电价上涨到每兆瓦时132美元，是1999年6月的5倍。2000年12月，加州电力交易中心的电价上涨至每兆瓦时386美元，比1999年12月高出近12倍。2001年1月，加州电力交易中心不得不关门。议会在通过以每兆瓦时65美元的固定价格出售电能的法令时，根本没有料到会发生这种情况。于是，电力交易都转移到了加州电力调度中心。2001年2月、3月、4月和5月，加州电力调度中心的电价分别为每兆瓦时363美元、314美元、370美元和275美元。公用事业公司以实时价格购买电能，再以每兆瓦时65美元的价格出售电能，必定会遭受巨额亏损。[注]

糟糕的市场环境

乔斯科认为，电价飙升有5个原因。（另一个权威机构——美国国会预算办公室也发布了一份关于加州电力行业重组计划的目的、方法和结果的报告。这份报告对加州电力危机的分析在很多方面都与乔斯科的观点不谋而合。）第一个原因是天然气价格上涨。当时，全美范围内的天然气价格都在上涨，但加州的价格却是其他地区的5倍。天然气的发电成本最高，不到万不得已的情况下是不会采用这项发电技术的，但一旦采用就会影响现货价格。[注]

第二个原因是经济增长和炎热天气促使电力需求不断增长。乔斯科指出，不仅持续时长仅为一个或几个小时的峰值需求增加了，整个月份的平均需求也增加了。与前一年同期的平均需求相比，2000年5月、6月、7月和8月分别增长了10.8%、12.7%、2.2%和7.1%。注

第三个原因是2000年从其他地方传输到加州的电能比1999年少。与1999年同期相比，2000年5月、6月、7月和8月从其他地方传输到加州的电力分别减少了27%、41%、67%和75%，这说明美国西部的水力发电供应量减少了。注

第四个原因是“区域清洁空气激励市场”（RECLAIM）计划对南加州空气污染问题的要求越来越严格。该计划的目标是减少发电厂和炼油厂的氮氧化物排放，是通过配额交易机制实施空气污染控制的第一次尝试。根据这一监管计划，发电厂必须持有许可证或者拥有配额才可以排放污染物。2000年，氮氧化物排放配额的价格上涨了近10倍。由于利用天然气发电需要支付这项成本，所以配额价格上涨又会导致加州电能的现货价格上涨。注

第五个原因是市场势力。乔斯科认为，在典型的反垄断环境中，供应商们会勾结在一起，哄抬市场价格。但加州的情况有所不同，它不是市场势力相互勾结的结果，而是市场势力单方面作用的结果。也就是说，供应商认为自己单方面提高电价后，尽管出售的电能总量会减少，但总的算起来他仍有可能赚到更多的钱，因此他决定赌一把。乔斯科认为，“考虑到基本供求状况的变化，2000年6月、7月、8月和9月的电能交易价格的上涨至少有1/3是市场势力作用的结果。”注

然而，这件事之所以引起媒体和政界的高度关注，还有另外一个原因：电能供应量在不断减少。既有发电厂断供的问题愈演愈烈，一些发电厂甚至彻底停产。乔斯科说，2000年11月—2001年5月，加州电力调度中心管控的多达35%的发电机组停止运行。业内人士认为，之所

以有越来越多的发电厂停产，是因为这些发电厂在夏季超负荷生产而不堪重负，或者是因为需要安装氮氧化物排放控制系统。乔斯科指出，与此形成鲜明对比的是，“加州政府的官员们认为，这些发电厂停止生产，至少有部分原因是出于战略需要”。注

很快，加州开始面临一个最严峻的问题：由于电能的价格被固定为每兆瓦时65美元，而主要的几家电力公司又不具备申请信用贷款的资格，因此它们无力支付加州电力交易中心或加州电力调度中心开出的账单。事实上，太平洋电气公司和另一家大型电力供应商——南加州爱迪生公司已经破产。2001年4月，加州最大的公用事业公司太平洋电气公司宣告破产。最终，因为找不到具有信贷资格的买家，加州政府要求加州水资源部签订电能购买的长期合同，以便为用户提供服务。2001年夏末，涨价狂潮终于退去，市场价格回落到危机之前的正常水平。注

糟糕的市场行为

2003年3月，美国联邦能源管理委员会工作小组公布了对加州电力危机的调查结果。从上文的讨论可以看出，人们认为糟糕的市场设计、糟糕的市场环境以及糟糕的市场行为这三个因素共同导致了危机的发生。而联邦能源管理委员会只把危机发生的原因归结为糟糕的市场行为这一个因素，而且点名了应该负责任的公司，包括名声最差的安然公司。委员会发现，这些公司有“明显的操纵市场”的行为。注

这份调查报告的另一个重要的不同之处，在分析加州电力危机的原因时大大地增加了对天然气价格的重视程度。报告先指出加州的电价和天然气价格“非常紧密地联系在一起”，然后说天然气的现货价格“上涨到非常高的水平，导致电价表现出前所未有的涨幅”。在说到导致天然气价格上涨的不良市场行为时，报告认为价格上涨“至少在一定程度上是因为行业出版物在编制价格指数时存在操纵行为”。

出版物发布的价格指数与天然气的实际价格之间的联系显而易见，天然气购买合同常根据价格指数来确定实际的购买价格。其理由是，价格指数反映的是买卖双方报告给行业出版物的交易价格的平均值或中位数的变化情况，即反映了真实市场价格。联邦能源管理委员会称，对天然气价格指数的操纵行为包括报告虚假数据。报告明确指出，“报告虚假数据已经成为一种普遍现象”。只有提供真实的价格信息，市场才能为买卖双方提供一个公平的博弈机会，这是自由市场最基本的道德标准。㊟

联邦能源管理委员会很快就锁定了一家公司，这家公司采取的“大批量、快速度的交易策略”正好符合委员会对“频繁交易”的定义。通过频繁交易，该公司大量购买天然气，但它并不是真的要用这些天然气，而是为了哄抬市场价格。频繁交易可以让该公司以下面的三种方式获利。第一种方式是人为抬高天然气价格，进而抬高加州电价，以实现从电能销售中获利的目的。第二种方式是上午以低价购入需要供应给用户的天然气，然后谎称是下午购入并出售这些天然气的，从而抬高天然气售价。第三种方式是利用该公司交易平台的一个功能，人为地制造买卖价差。联邦能源管理委员会称，该公司“经常在极短的时间内多次购入并出售天然气，导致（某个时段）天然气价格飙升”。㊟

重要的是，联邦能源管理委员会认为，该公司的频繁交易行为没有违反天然气销售的相关规定，因为从本质上讲，各种规定都没有禁止采用这种交易策略。不过，频繁交易策略并不符合自由市场的内在道德标准。㊟

在说到频繁交易对现实世界的影响时，联邦能源管理委员会称，如果某家公司的频繁交易导致加利福尼亚州和亚利桑那州边境的天然气价格全面上涨，8个月的总成本就会增加11.5亿美元。这对加利福尼亚电价可能造成的影响难以准确计算，但联邦能源管理委员会进行了

简单的估算，结果发现频繁交易有可能导致用户在买电时多支付16亿美元。如果这个估算结果还算准确，就足以说明频繁交易会导致非常严重的损失。注

联邦能源管理委员会发现市场参与者还可以用另一种方式来操纵天然气价格指数，那就是故意向行业出版物提供虚假信息。委员会称，有5家公司承认自己曾经操纵天然气价格，包括“捏造交易行为，夸大交易金额，瞒报交易次数，以及修改交易价格”。报告指出，“尤其令人不安”的是，“每个人都知道其他人正在通过谎报价格和交易量来操纵价格指数”。注

联邦能源管理委员会承认，市场环境也推动了天然气价格上涨。但它又补充说，操纵指数对价格上涨“负主要责任”，虽然公平地讲，“操纵行为造成的”价格涨幅“在整体中所占比例难以精确计算”。此外，委员会指出，与1999年同期相比，2000年5—10月，加州发电的天然气用量增加了44%。在美国西部，发电的天然气用气量也有约46%的涨幅。天然气需求的大幅增加引发了天然气价格增长，也为不良市场行为及其造成的巨大损失创造了条件。注

非法牟利的安然公司

无耻的交易

如今，安然已成为不良市场行为的典型代表。早在加利福尼亚州新建立的电力市场深受其害时，它的真面目就暴露无遗了。《华尔街日报》（*Wall Street Journal*）在一篇题为“无耻交易成为监管机构调查安然的突破口”的文章中，特别提到了安然公司的能源交易员蒂莫西·贝尔登（Timothy Belden）于1999年5月24日经手的一桩交易。当天，贝尔登提出了多个报价，建议安然向加州电力交易市场出售

2900兆瓦时电能。但问题在于，他提议用传输功率仅为15兆瓦的输电线路来传输这2900兆瓦时的电能。事实上，他有两个目的：第一个目的是造成“拥堵”，然后由安然公司出面疏通传输系统并收取费用；第二个目的是通过去除低报价，抬高电价。注

加州电力交易市场发现该提议“值得关注”，甚至“非常奇怪”，于是决定展开调查。《华尔街日报》报道称，州政府的调查表明，“贝尔登的这桩交易导致加州电力用户当天多缴了460万—700万美元的电费”。不过，在这件事曝光之后，安然受到的不过是缴纳2.5万美元罚款的惩罚。2002年10月，这桩和其他几桩交易则给贝尔登带来了严重得多的惩罚。在这种情况下，贝尔登签署了一份认罪协议，其中一项罪名是“串谋汇款诈欺”。根据这份认罪协议，贝尔登面临最高5年的监禁、25万美元的罚款，以及为他在加州市场上进行的不正当交易支付至少210万美元的赔偿款。注

确凿的证据

2002年5月6日，在联邦能源管理委员会即将开始调查加州是否存在操纵电力和天然气价格的行为时，安然公司的律师向委员会工作小组提交了三份备忘录。尽管备忘录上明显可见“律师—客户保密特权”标志（在法律上与“禁止入内”标志具有同等效力），但是安然公司的律师放弃了这个特权。其中有两份备忘录的题目均为“交易员在加州电力交易中心采取的策略及加州电力调度中心的制裁”，内容也几乎一模一样，日期分别是2000年12月6日和2000年12月8日。这两份备忘录的目的似乎是通知安然公司做好准备，为其导致加州电力危机的不良行为接受调查。注

备忘录描述了安然公司在加州电力市场上实际采取的交易策略，其中一个策略被称为“胖男孩”。要顺利实施这个策略，就必须充分理解加州的市场规则。安然公司（或任何市场参与者）在进入市场之

前必须先做好项目进度平衡表，也就是说，安然计划生产的电能必须等于它计划提供给用户的电能，用行话说，就是等于用电负荷。从本质上讲，安然的做法是谎报用电负荷。备忘录举了一个例子。假设安然第一天宣称它的发电量和用电负荷都是1000兆瓦，但实际用电负荷只有500兆瓦。第二天，安然完成了1000兆瓦的发电量，但因为用电负荷只有500兆瓦，因此还有500兆瓦的剩余。安然将按照实时价格出售剩余电能，因此在它认为实时价格比较高的日子里，它才会多报用电负荷。安然公司在第一天多报用电负荷的好处在于，它可以在第二天的以很高的实时价格出售剩下的电能。安然如何知道第二天的实时价格会上涨呢？如果安然多报用电负荷，而市场上的其他参与者少报用电负荷，实时价格可能就会上涨。事实上，加州的大型公用事业公司就是这样做的。㊟

这种操纵行为非常复杂，所以在执行“胖男孩”策略之前必须深刻理解这些规则，还必须认识到公用事业公司报告的虚假信息是让这个策略行之有效的必要条件。而且，安然公司并非孤军作战，而是勾结其他公司一起实施“胖男孩”计划。备忘录列出了参与其中的其他公司的名称，其中包括美国和加拿大的国有电力公司。㊟

备忘录还介绍了其他几个计划。其中，“加州电力输出”计划的大致内容是：“由于加州电力交易中心和调度中心设置了价格上限（当前是250美元），因此安然公司找到套利机会，先在加州电力交易中心购买电能，再向加州以外的地区出售电能。例如，昨天（2000年12月5日）美国西北部的一个电力交易中心的电价达到1200美元的峰值，而加州的价格上限仅为250美元。因此，交易员可以250美元的价格买入，再以1200美元的价格卖出。”㊟

还有一些计划不仅名字更有噱头，而且毫不掩饰其真实意图，比如“死亡之星”计划。安然公司表示，这个计划的最终结果是，“安然无须真的采取电力调度或其他方法来疏通输电线路的拥堵状况，却

可以假借缓解拥堵的名义收取费用”。接着，安然又实施了“瘦身”计划，其最终结果是，安然出售了一些无须出售的东西，其中包括一个在用户的用电需求暴涨时可迅速提供更多电能的闲置发电厂。安然公司非常清楚这种做法显然违反了相关规定。备忘录中还有一个名叫“跳弹”的计划：“安然从加州电力交易中心购买电能，然后进行跨州销售。安然先以较低价格将这些电能卖给加州以外的第三方，再回购这些电能，最后以较高的价格出售给加州电力调度中心。”注

联邦能源管理委员会认为这几份备忘录是确凿无疑的铁证，证明安然“迫切希望”“操纵市场”或“直接提供虚假信息”。委员会补充道，“我们必须强调，尽管这些交易策略被冠以安然的名字，但是参与方不计其数，不仅限于安然公司。事实上，工作小组发现，在两年的审查期内，大多数公用事业公司和一些非公用事业公司至少在某个时间段采取过某个不正当的交易策略。”工作小组列出了37个机构的名字，并“要求这些机构说明它们的交易行为不构成诈欺的理由”。注

政策制定者方法和经济学家方法

实际上，除了电能需求增加以外，加州当时正面临天然气严重匮乏的局面。2000年8月，埃尔帕索天然气管道公司的一条通往南加州的主要天然气管道破裂。作为三大州际管道之一，它的输气能力占南加州天然气输入总量的65%。埃尔帕索在8月份的两个星期内大约损失了1/3的输气能力，更糟糕的是，根据美国交通部的命令，它不得不再减少8%的输气能力，直到2000年年底2001年年初的那个冬季。注

任何大宗商品，包括天然气、电力、铜、玉米等，在遭遇商品数量或运输工具短缺的问题时，价格会怎样变化呢？假设有一个供求平衡的平静市场，供给量和需求量都是100个单位。然后，商品供给量突

然减少到60个单位。那么核心问题是，谁会得到这60个单位的商品呢？

有两种分配方法，为了方便起见，我们分别称为“政策制定者方法”和“经济学家方法”。如果采用政策制定者方法，政府机构将会介入，在供给量为100个单位时的用户中挑出一部分，用60个单位的供给量去满足他们的需要，并按之前的市价出售。经济学家方法则是让市场价格来引导商品分配，这听起来有点儿冷酷无情。在这种前提下，商品价格一直在上涨，直到有大量用户说“这个价位太高了”。这种方法需要排除一部分用户，将需求量减少40个单位。第二种方法与第一种方法之间的关键区别在于，供给短缺时的市场价格反映的是用户愿意支付的价格，而不是商品的成本。供给短缺时，如果采用经济学家方法，商品价格将远高于之前的市场价格。

政策制定者方法和经济学家方法都有可取之处。政策制定者方法强调公平合理，因为每个人都身处危机之中，因此商品价格应该保持不变。不过，经济学家方法也有优点。从理论上讲，如果价格上涨可以形成一个出清的市场，那么获得那60个单位商品的用户都愿意支付最高的价格。此外，经济学家方法也为解决这场危机提供了潜在的出路。价格上涨不仅会使用户需求减少，还会促使供应商寻找增加供给量的方法。减少需求或增加供给是最终解决短缺问题的唯一有效途径。

发生危机时，人们往往不是认真地权衡经济学家方法和政策制定者方法到底孰优孰劣，而是上演一部乱哄哄的政治闹剧。这一章只是概略地介绍了加州电力危机的始末，想要详细了解其来龙去脉的读者可以参阅亚瑟·欧唐内（Arthur O’Donnell）2003年出版的作品《输电网络的灵魂》（*Soul of the Grid*）。

社论版上的唇枪舌战

2001年，就在加州电力危机愈演愈烈之际，《萨克拉门托蜜蜂报》（*Sacramento Bee*）的社论版上演了一出有意思的论战。对话双方都曾深入参与加州撤销电力行业监管的立法和执行，一位是签发1890号法令的加州前州长皮特·威尔逊，另一位是强烈呼吁实施1890号法令的洛杉矶水电局前总经理戴维·弗里曼（David Freeman）。

6月3日，该报先刊登了威尔逊的观点。威尔逊指出，“州政府不能无视供求规律”，他随后通过“简单的推理”，预言加州在即将到来的夏天将“遭遇持续数百个小时的停电问题”，因为该州的“电力供应将无法满足需求”。威尔逊指责他的继任者戴维斯在危机爆发后没有采取果断行动，认为戴维斯应该利用他的紧急权力暂时解除价格上限，允许公用事业公司签订长期合同，并加快新发电厂的审批程序。根据威尔逊的说法，如果建造足够多的新发电厂，该州应该可以避免停电状况，太平洋电气公司也不会破产。(注)

一周后，戴维·弗里曼在报纸上对威尔逊的指责做出了回应。他一上来就说，威尔逊应该为他“四处宣扬”这场危机“与他毫无关系”的言论“感到难为情”。弗里曼说，解除监管的举措是导致加州电力危机的“罪魁祸首”，所以威尔逊不可能“置身事外”。他接着说，威尔逊犯了几个致命性错误，例如迫使公用事业公司放弃火力发电厂，致使这些发电厂“被加州以外的能源公司收购，其中包括得克萨斯州的几家公司”，而这些公司后来又“联手抬高电价”。威尔逊犯的又一个致命错误是将控制权交给“毫无威慑力”的联邦能源管理委员会，该委员会在设定价格上限时工作不力。弗里曼称赞了戴维斯在节能方面做出的努力，使得“5月份的用电量减少了11%”，并帮助加州最终签署了“近50个电能供应的长期合同”。弗里曼认为，建造发电厂的提案得以通过，并借助“快速通道”流程破土动工，这也是

戴维斯的功劳。此外，戴维斯还主导成立了“加州公共电力管理局”，在私营公司不作为时，该机构有权建造发电厂。(注)

弗里曼评价威尔逊是“自由市场的空想家”，还说威尔逊“承认”他推行的解除电力行业监管的计划“把事情搞得一团糟”。最后，弗里曼恳请威尔逊帮助戴维斯，建议老布什总统“支持戴维斯，通过打击哄抬电价的行为，为加州创建一个健康的电力市场”。(注)

这番论战清楚地表明了威尔逊和弗里曼在危机中所持的对立立场，以及他们在哲学观方面的不同。威尔逊认为危机是由糟糕的市场设计和糟糕的市场环境造成的，弗里曼则认为糟糕的市场行为是导致危机的唯一原因。因此，我们也可以从中看出经济学家方法（呼吁解除价格上限）与政策制定者方法（关注的重点是节能）的不同之处。

2003年10月，在这次报纸论战的两年之后，戴维斯被罢免了州长职务，由阿诺德·施瓦辛格接任加州州长。在当时，戴维斯是美国历史上第二位被罢免的州长。

被掩盖的肮脏交易

人们普遍认为，安然的财务危机源于该公司在加州电力危机期间的肮脏交易。这种说法并不准确，原因有三个。第一，安然破产是因为该公司对它向外披露的财务报表进行了大幅修改。安然之所以修改财报，是因为它的长期金融交易遭到了失败。也就是说，安然破产与它试图操纵加州或其他地方电力市场的行为几乎没有任何关系。第二，对于这些长期交易损失的错误会计处理方法在其他任何业务中都有可能存在，也很容易出现，电力行业在这个方面没有任何特殊之处。第三，在对安然公司的两名高管的审判过程中，最终获胜的检察官提出的论点是，导致安然公司破产的“不是会计处理方法，而是谎

言和人为的选择”。也就是说，原因在于这些高管掩盖了公司的真实财务状况。㊟

在这里，我们有必要详细介绍一下安然修改财报的具体情况，因为这个事件对美国经济产生了深远影响。2001年10月16日，安然公司公布了它的财报，其中有关安然与其关联企业LJM2间的金融衍生品交易部分大幅缩水。LJM2是安然公司的首席财务官安德鲁·法斯托（Andrew Fastow）创建的，其中的字母是法斯托的妻子和孩子名字的首字母，数字2表示这是法斯托为安然公司创建的第二个关联企业。10月22日，美国证券交易委员会开始调查LJM2公司，气氛一下子就紧张起来了。两天后，安然公司宣布，法斯托将开始休假，他的职位由其他人接任。随后，董事会宣布开始对安然与JLM2等的“关联交易”展开调查，调查小组的负责人是得克萨斯大学法学院院长小威廉·鲍尔斯（William Powers Jr.）。㊟

鲍尔斯的调查报告语言平实，直言不讳地陈述了他的调查结果。在报告的开头，鲍尔斯列出了一些牺牲公司利益中饱私囊的安然公司员工的名字。随后，该报告列出了一些会计处理方法，并称“安然公司管理层利用这些会计处理方法进行了某些内部交易”。如果交易双方是彼此独立的商业实体，就可以证明这些交易确实对双方都有利。但由于安然在内部交易中既是买方又是卖方，因此这些交易的唯一作用就是人为地粉饰安然的财务报表。㊟

鲍尔斯在报告中以安然与奇科公司的交易为例，说明会计处理方法的问题。在这些交易中，法斯托利用所谓的“特殊目的实体”（SPE），使一笔投资交易无须被记入资产负债表。特殊目的实体在电力业务和其他业务中都很常见，如果使用得当，就可以分散和规避风险。但是鲍尔斯坚称，安然的特殊目的实体的目的并不在此。他认为合法使用特殊目的实体，必须满足两个简单的标准。第一个标准是，“特殊目的实体的所有者必须与公司（安然公司）没有任何关系，必

须对该特殊目的实体进行实质性的股权投资，而且投资额不少于该实体资产的3%。同时，在整个交易过程中，这3%的资产必须面对各种风险”。第二个标准是，“独立所有者必须拥有特殊目的实体的控制权”。鲍尔斯在调查报告中明确指出，安然的特殊目的实体没有达到这两个基本标准。[注]

2002年7月8日，美国参议院常设调查委员会发布了关于安然事件的调查报告。该委员会声称这份报告是在鲍尔斯的调查报告的基础上扩充而来的，从报告的标题“安然公司董事会在安然危机中起到的作用”就可以看出参议院调查的重点。委员会调查报告的开头部分介绍了安然董事会成员的丰富经验和专业背景。之后，报告明确指出安然董事会没有履行自己的职责。比如，安然董事会允许“公司参与高风险的金属衍生品投资，获取不正当的利益，开展大量肮脏的关联交易，以及支付给高管过高的薪酬”。委员会还指出，安然的会计处理方法过于激进，就连公司的独立审计机构安达信会计师事务所也怀疑继续为安然提供服务是不是一个审慎的决定。[注]

委员会明确表示，安然破产与它没有满足特殊目的实体3%的股权投资要求没有关系。从本质上说，这些交易根本没有价值，也不是为了保护安然的股东和雇员的利益。这个事实表明，独立的董事会和独立的审计机构并不能保证安然远离财务危机。[注]

安达信的悲剧

安然公司的独立审计机构安达信会计师事务所是全球最大的专业服务公司之一，拥有8.5万名员工，营业收入高达93亿美元。2002年6月，安达信被判妨碍司法公正，已持续90年的经营活动骤然终止。它的悲剧与其销毁有关安然破产调查资料的行为有直接关系，据《芝加

哥论坛报》（*Chicago Tribune*）报道，安达信“几乎昼夜不停地做着销毁有关安然的审计文件的工作”。注

《芝加哥论坛报》进一步指出，安然是在安达信度过了“标准不断下滑，审计业务不断失败的十年”之后与之建立合作关系的。安达信与安然之间存在利益勾连，因为安达信一面审计安然公司的财务报表，一面向安然提供其他咨询服务。事后看来，正是丰厚的咨询费以及安达信与安然员工之间的亲密度，让安达信在特殊目的实体的审批环节降低了审计标准。更糟糕的是，如果某些安达信员工不愿接受安然想采用的会计处理方法，安然公司甚至有办法把他们赶出安达信。注

安达信一直认为，它的悲惨结局是“过分热心的检察官和不诚实的客户”共同造成的。事实上，2005年6月，《纽约时报》报道称，美国最高法院形成了“明确一致的判决意见……在安达信因为美国最大的公司丑闻而濒临破产之际，推翻安达信公司销毁安然公司审计文件的有罪判决”。《纽约时报》还说，之所以会出现这种逆转，是因为“法院认为，法官没有要求陪审团认定安达信知道自己有错的事实”。注

对说谎者的审判

在对安然的两名高管进行审判的过程中，联邦检察官约翰·休斯顿（John Hueston）指出：“本案并不复杂，我们需要关注的不是会计处理方法，而是谎言和人为的选择。”这句话为审判结果奠定了基调。检察官关注的不是会计和金融方面的惨痛教训，法官也不会要求陪审团重点考虑特殊目的实体之类的问题。更确切地说，他们需要调查的是一些心存不轨的人对不知情的投资者做了哪些坏事。注

休斯顿告诉陪审团，他会向陪审团展示“安然这个曾经的美国第七大公司的内幕”。一旦知道了这些内幕，陪审团就会发现，肯尼斯·雷（Ken Lay）和杰夫·斯基林（Jeff Skilling）这两个身居安然最高管理层的人不止一次撒谎。休斯顿说：“在安然宣布破产的前一年，这两个人在涉及安然公司真实财务状况的问题上曾一而再再而三地撒谎。他们通过编织谎言来抬高公司的股票价格，让普通投资者无法了解真相，进而无法做出明智的投资决策。”[注]

休斯顿向陪审团简要介绍了安然与其关联企业的交易，他的主要目的是让陪审团相信交易的另一方并非与安然公司毫无关系。休斯顿利用一幅简单的图片，巧妙地解释了特殊目的的实体的交易中暗藏的玄机。他把某种交易比作购买一辆卡车，公司支付了25000美元，并把这笔钱记录到财报上。他接着说道：“这辆卡车到处行驶，后来发生了几起事故，有几个轮胎破损了，车身也开始生锈……现在它的价值约为5000美元。”休斯顿认为，“魔术”的核心奥秘在于，交易员法斯托一直想隐瞒资产的真实价值。真正的独立买家会通过合法的手段来验证资产的真实价值，但法斯托绝不会这样干。[注]

休斯顿希望以此说服法院判决他对雷和斯基林的所有指控全部成立。最后，他重复了他一开始时提出的观点：“女士们，先生们，本案并不复杂，一切都归因于谎言和人为的选择。”[注]

雷和斯基林有各自的律师，代表雷出庭的律师是迈克·拉姆齐（Mike Ramsey）。对于安然的破产过程，拉姆齐给出了一个清晰的解释。安然的批发部门每天处理的交易价值“高达数百万美元”，而且这些交易都是在“接受电话委托”之后进行的。拉姆齐说：“当这种委托关系变得不可信时，整个批发部门就无法继续运转了。”2001年秋天，由于安然公司前途未卜，安然的贸易伙伴们说：“我们不能再和你们进行电话委托交易了，你们必须付全款。”拉姆齐说，“如此

苛刻的资金要求”，美国任何一家公司对此都无能为力，安然也不例外。注

在为雷进行辩护时，拉姆齐说一切责任都应该由法斯托和他的核心团队来承担，因为只有法斯托那伙人才知道会计处理方法中的猫腻。拉姆齐断言：“就是他干的。他欺骗了董事会，欺骗了肯尼斯，欺骗了杰夫，欺骗了所有人……他就是一个骗子，满嘴谎言，欺诈成性。”拉姆齐认为，虽然法斯托实际上只偷了“一点儿小钱”，但他的行为足以让安然的贸易伙伴们“避之若浼”。注

针对检察官重点提出的雷和斯基林通过他们的“选择和谎言”欺骗了所有投资者的指控，拉姆齐反驳说还有很多人参与其中，而且“其中有70%的人都是非常有经验的老手”。他补充说，审计机构安达信的工作人员“其实就在安然的办公大楼里上班”。注

财务危机发生后，安然公司的两名最高级别的管理者被判多项刑事罪名成立。安然公司的创始人肯尼斯·雷被判犯有6项证券欺诈和共谋罪，以及4项银行欺诈罪。在等待最终判决期间，64岁的雷死于心脏病，距离他被判有罪仅过了40天。在安然即将破产之际辞去首席执行官职务的杰夫·斯基林被判犯有18项欺诈和共谋罪，以及一项内幕交易罪。斯基林被判处24年监禁，不过后来他的刑期减少了10年。

据《休斯敦纪事报》（*Houston Chronicle*）报道，有32人和一家公司受到了联邦政府的指控。其中，斯基林的刑期远长于其他人。首席财务官安德鲁·法斯托被视为导致安然破产的多项金融计划的始作俑者，因为签署了一份涉及他本人和他妻子的认罪协议，最终获刑6年。根据这份认罪协议，法斯托必须出庭指证雷和斯基林。注

加州电力危机和安然事件留给世人的教训

加州电力危机和安然事件留给世人的主要教训是，让人们对电力行业鼓励竞争的做法持有偏见，或者说对解除电力行业监管的做法心存偏见。这种偏见今天仍然存在，但它是不公平的，因为安然和其他人的不正当行为显然不是引发加州电力危机的唯一原因。历史的广角镜头显示，加州危机有三个主要原因，除了糟糕的市场行为，糟糕的市场设计和糟糕的市场环境也是两个应该考虑的因素。

是的，糟糕的市场行为确实难辞其咎。说到这里，美国人应该会想起赫伯特·胡佛的一句名言："资本主义的问题就在于资本家，他们太贪婪了。"遗憾的是，胡佛的这句话用来描述加州电力危机中某些人的行为也十分恰当。有些商人处心积虑地"频繁"买入卖出，故意提供虚假信息以操纵价格指数，再利用价格指数签订大量的天然气和电力供应合同，他们到底居心何在？任何企业，如果希望获得消费者的信任，其本身就必须是值得信赖的。[注]

由于这些不正当行为，现在美国联邦政府和州监管机构都把工作重点放在建立更严格的市场规则上，同时通过更严厉的执法去惩治那些居心不良、行为不轨的人。虽然严厉执法值得肯定，但把过多的注意力放在这个方面，就会分散人们对培育良好市场环境的关注。从根本上说，我们必须确保有足够多的符合要求的发电厂"整装待发"，随时投入运营。因此，监管机构必须在发电厂的正当利益诉求与越来越详细的市场规则可能造成的障碍之间找到平衡点。

加州电力危机给我们的另一个教训是，自以为是可能会造成巨大的损失。加州电力市场设计者犯下的最严重错误，就是一边迫使公用事业公司以固定价格向用户出售电能，一边以浮动价格从供应商那里购买电能。市场设计者自以为是地认为，电能的现货价格总是低于每兆瓦时65美元。他们本应该想到有可能会出现相反的情况，而这种情况在现实中真的发生了。

然而，加州电力危机的恶劣影响并没有阻止其他地区解除电力行业监管的步伐。在美国的大部分地区，电力行业通过结构重组为市场竞争创造条件的进程仍在继续。不可思议的是，加州也是其中之一。为什么加州电力危机没有动摇其他地方解除监管的决心呢？原因之一可能是加州电力危机的相关证据都与特定的时间和地点有关。最有说服力的证据就是类似的危机并没有发生在其他地区，尽管其他地区也对电力市场进行了结构重组。

同样重要的是，安然的财务危机不仅仅是因为它进入了加州或其他地区被解除监管的市场。安然破产的导火索是会计处理方法背后的欺骗手段，这些手段可以很容易地应用于除电能以外的商品交易中。被解除监管的电力市场，并不比其他商品市场更容易被操纵。

安然破产的另一个教训是，落实到位的保护措施无法规避危机的发生。安达信是全球最大的会计师事务所之一，但它并没有保护公众免受安然公司过于激进的财务和金融行为的影响，经验丰富的董事会也没有起到任何保护作用。

更重要的是，不要让典型的保护措施成为居心不良者的保护伞。安然案的辩护律师说，安然的所有行为都不应该被视为非法行为，因为它的所有行为都经过了精明的外聘律师、会计师和投资者的检查。而陪审团肯定从一开始就推翻了这种说辞，判决结果对那些试图获得保护伞而不是专心为客户创造价值的人发出了明确的警告。再回头看看塞缪尔·英萨尔的无罪释放，警告意味就更加明晰了。英萨尔被判无罪释放的前提条件是，该案涉及的会计处理方法简单得多，而且英萨尔的功过相抵。英萨尔的功劳是让所有人都用得起电，陪审团肯定非常看重他的这项功劳，因此没有追究他的控股公司账目不清这个错失。安然公司的多项罪名最终成立，正是因为它的行为没有让公众获得任何好处。

1. Final Report on Price Manipulation in Western Markets: Fact-Finding Investigation of Potential Manipulation of Electric and Natural Gas Prices, Docket No. PA02-2-000, Federal Energy Regulatory Commission, March 2003, accessed October 1, 2016, <http://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/part-2-03-26-03.pdf.VI-35>.

2. Dan Morain, "Deregulation Bill Signed by Wilson," Los Angeles Times, September 24, 1996, accessed October 1, 2016, <http://articles.latimes.com/1996-09-24/news/mn-47043_1_wilson-signed-legislation>.

3. Paul L. Joskow, "California's Electricity Crisis," Oxford Review of Economic Policy17, no.3 (2001): 366－75; Pete Wilson and David Freeman, "Energy Crisis, Electricity: Who's at Fault?" Cal-Tax Digest, July 2001, accessed October 10, 2014, <http://www.caltax.org/member/digest/july2001/july01-04.htm>.

4. "Fortune 500: 2001 Archive Full List 1－100," CNN, accessed October 1, 2016, <http://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune500_archive/full/2001/>; "Fortune 500: 2000 Archive Full List 1－100," CNN, accessed October 1, 2016, <http://archive.fortune.com/magazines/fortune/fortune500_archive/full/2000/>; Bethany McLean and Peter Elkind, The Smartest Guys in the Room: The Amazing Rise and Scandalous Fall of Enron (New York: Portfolio/Penguin, 2003).

5. Bill Number: AB 1890 (passed September 23, 1996), California Legislative Information, accessed October 1, 2016, <ftp://www.leginfo.ca.gov/pub/95-96/bill/asm/ab_1851-1900/ab_1890_bill_960924_chaptered.html>; Electricity: Provisions of AB 1890, Energy Information Administration, accessed October 1, 2016, <http://www.eia.gov/electricity/policies/legislation/california/assemblybill.html>.

6. J oskow, "California's Electricity Crisis," 368－69, 371; "Pacific Gas and Electric Company's Divesture of Electric Assets: Environmental Review," chap.2, State of California Public Utilities Commission, updated February 26, 1999, accessed October 1, 2016, <http://www.cpuc.ca.gov/Environment/info/esa/divest-pge-two/eir/chapters/02-projd.htm>; Order 888 (issued April 24, 1996), Federal

Energy Regulatory Commission, accessed October 1, 2016, <http://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/order888.asp>.

7. Joskow, "California's Electricity Crisis," 375 – 77.

8. Joskow, "California's Electricity Crisis," 375, 377.

9. Joskow, "California's Electricity Crisis," 377 – 78.

10. Joskow, "California's Electricity Crisis," 378 – 79.

11. Joskow, "California's Electricity Crisis," 378 – 79.

12. Joskow, "California's Electricity Crisis," 379 – 80.

13. Joskow, "California's Electricity Crisis," 380 – 381.

14. Joskow, "California's Electricity Crisis," 381.

15. Joskow, "California's Electricity Crisis," 366, 383, 385 – 86.

16. "Final Report on Price Manipulation in Western Markets." Federal Energy Regulatory Commission, March 2003, vi, ES-1, accessed October 1, 2016, <http://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/PART-I-3-26-03.pdf>.

17. "Final Report on Price Manipulation in Western Markets," ES-1, ES-6.

18. "Final Report on Price Manipulation in Western Markets," ES-4, ES-5, II-1, II-30, II-31, ES-5.

19. "Final Report on Price Manipulation in Western Markets," ES-5.

20. "Final Report on Price Manipulation in Western Markets," II-59, II-60.

21. "Final Report on Price Manipulation in Western Markets," ES-6, III-15.

22. "Final Report on Price Manipulation in Western Markets," I-1, I-2.

23. John R. Wilke and Robert Gavin, "Brazen Trade Marks New Path of Enron Probe for Regulators," Wall Street Journal, October 21, 2002, accessed October 1, 2016, <http://www.wsj.com/articles/SB1035159011191352671>.

24. Wilke, "Brazen Trade Marks New Path of Enron Probe for Regulators"; United States of America v. Timothy N. Belden, Findlaw, accessed October 1, 2016, <http://news.findlaw.com/hdocs/docs/enron/usbelden101702plea.pdf>

25. Memo from Donald J.Gelinas [associate director,FERC Office of Markets Tariffs,and Rates] to Sam Behrends,LeBoeuf,Lamb,Greene & MacRae LLP[Enron Counsel],May 6,2002;Memoranda to Richard Saunders [of Enron]from Christian Yoder [of Enron Power Marketing,Inc.] and Stephen Hall [of Stoel Rives,LLP],December 6,2000.Hereafter “Enron Smoking Gun Memo.”

26. “Enron Smoking Gun Memo,” p.1 at A.1,page 2 at A.1,page 6 at 6.a.

27. “Enron Smoking Gun Memo,” p.2.

28. “Enron Smoking Gun Memo,” p.3,p.5 at 1.a.

29. “Enron Smoking Gun Memo,” p.5 at 2.e,p.6 at 4.e,p.7 at 7.b.

30. “Final Report on Price Manipulation in Western Markets,” VI-3,VI-35,VI-36.

31. “Final Report on Price Manipulation in Western Markets,” I-13,I-14.

32. Wilson,“Energy Crisis,Electricity: Who’s at Fault?”

33. Wilson,“Energy Crisis,Electricity: Who’s at Fault?”

34. Wilson,“Energy Crisis,Electricity: Who’s at Fault?”

35. Mark Jickling,“The Enron Collapse: An Overview of Financial Issues,”CRS Report for Congress,updated March 28,2002,CRS-2,accessed October 1,2016, <http://fpc.state.gov/documents/organization/9267.pdf>;Alexei Barrionuevo and Vikas Bajaj,“What’s at Heart of Enron Case,Accounting or ‘Lies and Choices’?,”New York Times,January 31,2006,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2006/01/31/business/worldbusiness/31iht-enron.html>.

36. William C.Powers,“Report of Investigation by the Special Investigative Committee of the Board of Directors of Enron Corp,” February 1,2002,2,30–31,accessed October 1,2016, <http://picker.uchicago.edu/Enron/Powers Report(2-2-02).pdf>.

37. Powers,“Report of Investigation of Enron Corp,” 3–4,18.

38. Powers,“Report of Investigation of Enron Corp,” 5.

39. “The Role of the Board of Directors in Enron’s Collapse,” Permanent Subcommittee on Investigations of the Committee of

Governmental Affairs United States Senat, July 8, 2002, 3, 18 – 19, accessed October 1, 2016, <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CPRT-107SPRT80393/pdf/CPRT-107SPRT80393.pdf>.

40. "The Role of the Board of Directors in Enron's Collapse," 43 – 45.

41. Ken Brown and Ianthe Jeanne Dugan, "Arthur Andersen's Fall from Grace Is a Sad Tale of Greed and Miscues," Wall Street Journal, June 7, 2002, accessed October 1, 2016, <http://www.wsj.com/articles/SB1023409436545200>; "Ties to Enron Blinded Andersen," Chicago Tribune, September 3, 2002, accessed October 1, 2016, <http://www.chicagotribune.com/news/chi-0209030210sep03-story.html>.

42. "Ties to Enron Blinded Andersen."

43. "The Fall of Andersen," Chicago Tribune, September 1, 2002, accessed October 1, 2016, <http://www.chicagotribune.com/news/chi-0209010315sep01-story.html>; Linda Greenhouse, "Justices Unanimously Overturn Conviction of Arthur Andersen," New York Times, May 31, 2005, accessed October 1, 2016, <http://www.nytimes.com/2005/05/31/business/justices-unanimously-overturn-conviction-of-arthur-andersen.html?mtrref=www.google.com&gwh=3DF84BC2B8AC837475FB2146444DCE95&gwt=pay>.

44. Barrionuevo and Bajaj, "What's at Heart of Enron Case, Accounting or 'Lies and Choices'?"

45. "Enron Trial Exhibits and Releases," Department of Justice, accessed June 31, 2016, <https://www.justice.gov/archive/index-enron.html>.

46. "Enron Trial," Opening Statement of John Hueston, for the federal prosecutor, 375 – 77.

47. "Enron Trial," Opening Statement of John Hueston, for the federal prosecutor, 395.

48. "Enron Trial," Opening Statement of Mike Ramsey defending Ken Lay, 476 – 77.

49. "Enron Trial," Opening Statement of Mike Ramsey defending Ken Lay, 478.

50. "Enron Trial," Opening Statement of Mike Ramsey defending Ken Lay, 488 – 89.

51. Alexei Barrionuevo, “Enron’s Skilling Is Sentenced to 24 Years,” New York Times, October 24, 2006; “Enron: Where Are They Now?” Houston Chronicle, May 21, 2012.
52. David Shipley, “Editorial Notebook: Remembering Hoover,” New York Times, August 10, 1992, accessed October 1, 2016, <http://www.nytimes.com/1992/08/10/opinion/editorial-notebook-remembering-herbert-hoover.html>.

第16章　电力市场的竞争性改革

讨论公共监管的文献材料数量繁多，几乎已经触及了这个问题的方方面面。但是，有一个人们应该问的最基本的问题却很少有人讨论，即使讨论也是浅尝辄止。这个问题就是：公共监管对行业的行为是否有影响？

——乔治·斯蒂格勒，克莱尔·弗里德兰（1962）注

2003年，在加州电力危机和安然事件刚过去不久，就发生了一次大停电事件，5000万人无电可用，将与解除行业监管有关的事件数量增加到三起。为什么解除监管——更恰当的名称应该是“竞争性改革”——没有因为这三起重大的负面事件而停滞不前呢？人们是否认为加州电力危机和安然事件是例外情况，而不符合一般规律？他们是否意识到，导致2003年大停电事件的原因是长期以来人们没有办法解决树木、工具和培训问题，而不是因为竞争性改革？或者，人们可以通过某种令人信服的逻辑，从政治、经济、技术或文化等方面找到必须进行竞争性改革的理由？很明显，无论出于何种原因，竞争性改革都势在必行。在加州电力危机、安然破产、大停电事件发生前的几十年时间里，竞争性改革在全美范围内已经蓄势待发。尽管在某些方面停滞不前，但它仍然保持着前进的势头。注

规模经济的终结

对规模经济的信仰和监管造就了垄断型电力公司迅猛发展的黄金时代，而规模经济的终结理所当然地标志着这些垄断组织的终结，以

及一个全新时代的到来。

联邦能源管理委员会称，这个故事始于1935年的《联邦电力法》。这部法案是“在一个大多数电力企业都自给自足，采取垂直一体化运营模式的时代颁布的”。进入20世纪60年代后，由于规模经济、技术进步和对生产成本的控制，电价没有上涨的必要性。鉴于此，电力行业“没有受到”通过结构重组为竞争创造条件的“压力”。注

20世纪60年代末和整个20世纪70年代，由于通货膨胀和高利率，用户需要缴纳的电费不断上涨，情况开始发生重大变化。联邦能源管理委员会指出，核电成本超支推高了电价；与此同时，公用事业公司需要为因高估需求而形成的过剩产能埋单，导致电价进一步上涨。联邦能源管理委员会报告说：“1970—1985年，按名义价值计算，住宅用电的平均价格上涨了两倍多，在考虑通货膨胀因素之后仍然上涨了25%。”工业用户面临的情况更糟糕，按名义价值计算，电价上涨了三倍；考虑通货膨胀因素或者按“真实”价值计算，电价上涨了86%。注

联邦能源管理委员会认为，20世纪70年代意味着规模经济的终结。在20世纪60年代，规模越大意味着价格更便宜，所以垂直一体化的大型公用事业公司可以不断扩大规模，以便在与规模较小的电力公司展开竞争时取得价格优势。而在接下来的10年里，规模较大的公用事业公司达到了规模经济的上限，再扩大规模则意味着运营成本的增加，停产时间也会不断延长。联邦能源管理委员会称：“规模越大越好的日子一去不复返了。”注

培养竞争者

1978年颁布的《公用事业监管政策法》（PURPA）是竞争性改革的第一个重要里程碑。有趣的是，改革并非它的本意。这部法案的出台背景是20世纪70年代的第一次石油危机。阿拉伯国家实行的石油提价和禁运导致美国汽油短缺，排长队加油的现象随处可见。此外，由于汽油短缺导致经济衰退，美国的失业率也在不断上升。一时之间，能源政策变得非常重要，当务之急是减少美国对外国石油的依赖，以提升美国应对下一次石油禁运的能力。因此，地缘政治推动了能源政策。《公用事业监管政策法》是卡特总统签署的《国家能源法》中的一小部分，由此可见，减少对外国石油的依赖在能源政策中所占的分量也不是很重。这部法案旨在激励人们用指定的技术发电，要么提高石油和天然气的发电效率，要么不使用石油，改用太阳能、风能和垃圾发电等。㊟

使用法案指定技术的发电厂被称为“合格发电厂”，其中包括采用热电联产方式的发电厂。所谓热电联产，通常是指发电厂既生产电能又生产热能，供工业园区使用或者出售给当地的公用事业公司的生产方式。该法案要求当地公用事业公司购买合格发电厂生产的电能，价格按“可避免成本”（即该公用事业公司自行发电所需的成本）计算，以鼓励它们投资建设合格发电厂。

可以想象，按照可避免成本确定电价的做法必然会引发争议，因为当地的公用事业公司希望压低价格，而合格发电厂又希望抬高价格。此外，价格估算必然要建立在大量假设的基础之上，这些假设也会遭到质疑。在这种情况下，有必要认识到《公用事业监管政策法》还有另外一个目的：寻找新发电厂，用以替代垄断性的公用事业公司的成本超支、业绩不佳的核电站。为了实现这个目的，该法案不惜依据核电厂的高成本，确定较高的可避免成本。更重要的是，许多州都愿意以可避免成本为依据，与合格发电厂签订电力销售的长期合同，而且合同价格在未来10年或20年里保持不变。这些合同是合格发电厂

融资的一个必要条件，它们甚至可以仅凭这些合同“到银行办理贷款业务”。

《公用事业监管政策法》成功地吸引了不少新企业加入电力市场，这是电力业务引入竞争机制的第一个重要步骤，但它其实是无心之举。在合格发电厂于20世纪80年代初开始运行后不久，各州就发现合格发电厂的发电能力远高于用户需求，有时两者间甚至达到10∶1的关系。因此，这些州要求合格发电厂在价格上展开竞争，报价时需要在可避免成本的基础上打个折。毕竟，价格竞争是所有竞争市场最基本的要素之一。

《公用事业监管政策法》也使首选技术发生了彻底改变。在传统的成本加成的价格监管机制下，企业会优先选择资本成本最大的技术，因为资本成本越大，估算利润的基础值就越大。建造煤电站和核电站时，企业就是重点考虑了这个因素。《公用事业监管政策法》颁布之后，这种情况彻底改变了，企业会优先选择资本成本比较低的燃气—蒸汽联合循环发电厂。使用联合循环发电技术之后，同样数量的燃料可以生产出两倍的电能，这与《公用事业监管政策法》推广更节能的发电技术的目标是吻合的。在生产的第一阶段，天然气在燃气涡轮机中燃烧，燃烧的涡轮机与发电机相连，从而完成第一轮发电。在第二阶段，将燃气涡轮机排出的高温余热引入余热锅炉把水变成蒸汽，再让这些蒸汽进入蒸汽涡轮机，驱动发电机完成第二轮发电。

燃气—蒸汽联合循环技术缓解了危机时代的许多问题，包括1973年的第一次石油危机，核电厂成本超支和业绩不佳的问题，以及日益严重的空气污染问题。联合循环发电技术对天然气（或石油）的利用效率远高于其他发电技术，对于急于解决石油危机的政策制定者而言，这项技术具有非常大的吸引力。为了解决核电成本飙升的问题，联合循环发电厂的运营商非常愿意签订固定价格的长期合同。所以，这些电力市场的新进入者承担了资本成本超支的风险，也就是说，即

使运营商的成本增加，电价也会保持不变，而不会随成本的上涨而上涨。固定电价还意味着运营商承担了业绩不佳的风险，它们只有在联合循环发电厂售出电能的情况下才会得到报酬。

公平地讲，在承担资本成本超支的风险方面，联合循环发电厂的能力远强于核电厂。在联合循环发电厂的总成本中，只有1/3的成本属于资本成本，而核电厂的资本成本的比例则要大得多。联合循环发电厂的剩下2/3的成本是使用天然气的成本。虽然电能的资本成本部分可能是固定的，但是联合循环发电厂的电价通常会包含燃料成本，而且燃料成本会随着天然气价格的变化而波动。将燃料成本纳入价格指数或浮动价格，被视为一种非常好的做法，因为它可以实时反映天然气的市场价格。不过，一旦采用这种价格机制，天然气价格的快速上涨也会引发电价快速上涨，加州电力危机期间电价的飙升就是一个明证。

从环境的角度看，联合循环发电厂的空气污染物排放要比燃煤发电厂少得多，前者几乎不排放二氧化硫，也不释放煤尘。虽然联合循环发电厂确实会排放氮氧化物，但在20世纪80年代末至90年代，包括威斯汀豪斯、通用电气和西门子在内的企业都在稳步减少氮氧化物的排放。

《公用事业监管政策法》对于启动竞争性改革具有至关重要的意义，因为它培养了竞争者——合格发电厂。没有竞争者就没有竞争。此外，这些竞争者为当时的能源供应和环境问题提供了解决方案。当它们形成一个利益集团之后，就可以进一步推动竞争性改革。注

电网准入和无歧视的输电服务

这些竞争者可以拓展的下一个业务，就是在完成发电之后的输电服务。电力传输系统（电网）的控制权掌握在它们的竞争对手——垂直一体化的公用事业电力公司手中，经营方式（比如，谁可以使用电网）以及是否接纳新的发电机组，都是由这些电力公司决定的。垂直一体化的公用事业公司是一种普遍的存在，比如南加州爱迪生公司、中南公用事业公司、新英格兰电力公司等。垂直一体化的公用事业公司令人不满的主要原因在于，它们在与新电力公司竞争时，通常会倚仗它们对电网的控制权。要客观评价这个问题，我们不妨假设某市政公用事业公司同意与这些竞争者签订长期合同，购买后者生产的电能。但是，如果这家本地公司不希望这些竞争者插手本地的电力服务，那么它只需要声称电网已被全部预订，而扩大电网的成本将导致这些竞争者的电价大幅上涨，就可以拒绝为竞争者提供输电服务，由自己垄断本地的电力服务，并挤垮竞争者。而且，当时没有任何法律法规要求公用事业公司赋予竞争对手使用电网的平等权利。

为了培养竞争者，促进竞争，就必须通过政策的形式开放电网，这一点从一开始就明确了。20世纪80年代后期，联邦能源管理委员会发起了一项活动，要求各电网运营商根据具体情况开放电网。例如，如果两个垂直一体化的公用事业公司向联邦能源管理委员会提交公司合并申请（该项审批权力由《联邦电力法》赋予），联邦能源管理委员会就会要求它们至少初步开放电网，让各方（包括竞争者）均可使用。联邦能源管理委员会还利用公用事业公司申请采用基于市场的定价机制的契机，敦促它们开放电网。如果联邦能源管理委员会同意公用事业公司根据市场确定电价，它们就可以不采用成本加成定价法，但前提是它们必须开放电网。

联邦能源管理委员会在一定程度上开放电网的做法为竞争性改革提供了推动力。1992年，国会通过了《能源政策法》，也为改革的推进做出了贡献。新进入者可以参与竞争的技术一下子多了起来，而无须受限于《公用事业监管政策法》指定的合格发电技术。一种叫作有

豁免权的批发发电商（EWG）的新型竞争者被创造出来，它们可以建立一系列的独立发电厂。这样一来，新进入者就可以建造独立的燃气—蒸汽联合循环发电厂，发电厂的规模不一定很小，也不一定要采用热电联合发电厂的那种独特设计。[注]

1996年，联邦能源管理委员会准备将其根据具体情况确定的开放电网的要求变成法律的形式，就颁布了888号法令。内行人都知道，数字888表明这个法令非常重要，因为联邦能源管理委员会的新总部地址就是华盛顿第一大街888号。在1995年宣布该法令草案之前，委员会称“38家公用事业公司已经提交了开放电网后的输电价目表”。据推测，这是委员会在根据具体情况开放电网方面取得的进展。在第888号法令草案公布后的第一年，统计数字就有了大幅增加。联邦能源管理委员会报告说：“共计166家公用事业公司拥有、控制或经营的电网参与了州际贸易，其中有106家已经提交了某种形式的开放电网的输电服务价目表。”这表明，即使是法令草案，其效果也强于“根据具体情况处理”这个方法。[注]

颁发第888号法令的目的是，确保公用事业公司“不会因为拥有电网的垄断权而不公正地歧视他人”。[注]而且，无歧视的输电服务一直是第888号法令的“法律和政策基石”。为此，888号法令要求所有拥有或控制输电线路的公用事业公司提交开放电网的输电服务价目表。更重要的是，这些公用事业公司必须依据相同的价目表提供输电服务，还需要遵守同样的规则。[注]

各州可以从中享受的权利一如既往地得到了重点关注。联邦能源管理委员会称，该法令“明确了联邦与州对州际贸易中电能传输的管辖权”，并声称“尊重某些州的建议”。在随后颁布的法令中，联邦能源管理委员会补充说，虽然“管辖权的范围可能会改变”，但不会“改变各州的基本监管权力”。具体来说，各州将继续“管理绝大多数发电厂的资本成本”，决定“发电和输电设施的选址”。[注]

4年后，联邦能源管理委员会采取了下一步行动，通过进一步开放电网，促进电力行业的竞争性改革。于是，2000号法令应运而生。联邦能源管理委员会之所以这样做，是因为单个公用事业公司提交的开放电网的输电服务价目表，不足以终结歧视性的输电服务。比如，联邦能源管理委员会指出，在估算可用输电能力时经常会出现不一致的现象。为了杜绝这种情况，2000号法令从各个公用事业公司手中收走电网的运营权，把它交给一个新的独立实体——区域输电组织。(注)

区域输电组织是竞争性改革取得的一个显著进步。2000号法令打破了垄断的壁垒，创造了电力业务的大型自由贸易区。自由贸易区中的所有参与者都遵守同样的规则，都拥有发言权。除了透明的电网准入规则之外，区域输电组织还为电能销售创造了一个透明的现货市场。更重要的是，现货市场提供了必要的流动性，因为供应商随时可以将电能销售给区域输电组织的透明现货市场，再也不需要与公用事业公司签订双边销售合同了。

不过，区域输电组织并不意味着放松监管，因为其独立董事会可以对区域市场实施另外一种管理。联邦能源管理委员会非常重视该独立董事会的表决结果，但最终决定权仍归联邦能源管理委员会所有。

改革的动力

天然气在电力行业的竞争性改革中起到了两个重要作用。第一，天然气业务的监管改革为电力业务改革起到了示范作用。第二，天然气一直是新加入的竞争者推动电力业务改革的首选燃料。

天然气监管的起步和发展速度与电力监管几乎相同，中间过程也如出一辙。早期的天然气生产主要依靠煤炭，因此属于地方事务，由市政府负责监管。在天然气销售跨越了城市边界之后，州政府接过了

监管的职责。同样，在天然气供应和传输跨越了州边界之后，美国最高法院告诉各州，它们没有天然气州际销售的监管权（最高法院对州际电力销售也做出了同样的裁决）。与电力业务的情况一样，联邦贸易委员会的报告表明人们对所有权的集中问题心存担忧，也担心天然气价格会过度上涨。

1938年，美国国会颁布《天然气法》，开始对天然气的州际销售和运输进行监管。该法案要求州际天然气销售（包括以转售为目的的销售）必须做到价格公平合理，还要求所有新建天然气管道都必须获得联邦电力委员会（联邦能源管理委员会的前身）的批准。

不过，在联邦政府从源头（常见的说法是从“井口”）开始对天然气价格实施更全面的监管之前，因为价格问题而对簿公堂的情况就发生过好几次。最高法院在菲利普斯石油公司诉威斯康星州一案中做出裁决，所有天然气的州际销售都必须接受监管。随后，在井口处对天然气价格实施监管的三次尝试均以失败告终，导致价格监管被彻底解除。第一次尝试是，联邦政府试图对供应商逐一实施价格监管，但由于供应商数量过于庞大而失败。第二次尝试是，联邦政府试图按地区实施价格监管，但因为成本加成价格法对天然气供应不起作用而失败。因为并不是每一个气井都能产出可用的天然气，如果成本加成定价法只计算成功气井的成本，而不把失败气井的勘探成本计算在内，就没有人愿意从事天然气勘探工作。第三次尝试是，制定全国统一的天然气价格——每百万立方英尺[注]42美分。尽管这一价格是此前监管价格的两倍，但远低于自由市场的价格水平。由此导致天然气的持续短缺、供不应求。[注]

为了应对短缺，国会颁布了1978年的《天然气政策法》。这部法案与《公用事业监管政策法》一样，都是《国家能源法》的一部分。《天然气政策法》发动各利益相关方，全面解除了对天然气井口价格的监管。它采取了按年份定价的策略，也就是说，天然气的供应价格

高于该法案颁布之前天然气的井口价格。由于处在天然气短缺的时代，管道系统迫不及待地与天然气供应商签订固定数量、固定价格的长期合同，即照付不议合同。法案颁布后，天然气价格先是上涨，但需求量开始减少，而供应量开始增加，天然气价格又开始下跌。随着时间的推移，天然气的现货价格比照付不议合同中的价格低得多。由于受到照付不议合同的约束，用户们开始强烈要求拥有自行购买天然气的权利，这样他们就可以按较低的现货价格购买天然气了。注

针对这个情况，联邦能源管理委员会在1985年颁布了436号法令。这个法令非常重要，它允许主要的州际天然气管网在自愿的基础上提供分类定价的天然气传输服务，也就是说，州际传输将与天然气供应分开，也与天然气储存等其他相关服务剥离。436号法令又被称为“管网准入令”，它立刻引发了非常重要的变化。联邦能源管理委员会称，1984年，管网的天然气输量中只有8%是通过分类定价传输服务完成的。然而，在436号法令颁布之后，这一比例在20世纪90年代初就上升至79%。1989年，国会颁布了《天然气井口价格解除管制法》，最终彻底解除了对井口价格的监管。注

1992年，联邦能源管理委员会颁布的636号法令解除了天然气竞争的剩余障碍。在管网准入令下的传输服务并不等于捆绑服务中的传输服务。636号法令将传输服务从天然气销售中完全剥离出来，还要求拥有管网的企业向所有天然气供应商提供类似的服务。注

大量数据表明，天然气已经成为新加入的竞争者的首选燃料。1995年，天然气发电量只占总发电量的10.3%。与之形成鲜明对比的是，新加入的非公用事业公司的天然气发电量的占比为56.2%。至于其他燃料，1995年煤电在总发电量中占55.2%，核电占22%。而非公用事业公司的情况再次与之形成鲜明对比，它们的第二大燃料是可再生能源，其发电量的占比为22.9%；第三才是煤炭，占比为15.4%。注

这些统计数字真实有力地证明了价格监管对电力供应商的燃料选择的影响作用。监管制度不是中立的，因为成本加成定价机制为建造大型煤电厂和核电厂提供了巨大的动力，而以市场为基础的定价机制则会刺激企业建造小规模、多功能的天然气发电厂。再加上可观的税收优惠，成本加成定价机制也会刺激发电商们选择不可再生燃料。新规定意味着新的首选燃料，在设计未来政策时，政策制定者们必须充分认识到这一点。

把不成文的规则变成白纸黑字

正如我们所看到的，竞争性改革不等于彻底放手不管。竞争性改革到底改变了什么？又让哪些东西保持不变呢？后一个问题的答案非常简单：不管有没有竞争性改革，管理复杂的电力系统都无异于在刀尖上跳舞，因为供电量必须时时等于电力需求。只要用电网将远处的发电厂连接起来，为分散的用户提供服务，供求就必须达到平衡，也需要制定各种规则。如果这个系统由某一家公司（即当地的垄断企业）运营，人们就难以了解这些规则。每个发电厂是否运行，以何种方式运行，输电线路以多大负荷输送电能，这些决定都是在那些垄断企业总部的安保措施严密的办公室里做出的。当然，它也会遵循一些规则，但这些规则不同于经常受到公众监督的那些规则。

竞争性改革带来的变化，是那些拥有发电厂的公司渴望了解影响发电厂命运的那些决策是如何制定出来的。具体来说，它们希望系统的运行能给它们的发电厂带来在市场上公平竞争的机会。因为有了这些新加入者，曾经不成文的规则现在必须白纸黑字地写出来，接受公众的监督，以及得到监管机构的批准。电力系统的竞争性改革让每一条规则都变成了白纸黑字，并明确说明制定该规则的目的，即确保不会停电，并以最低的合理成本为用户提供服务。当然，为新加入的竞

争者打开大门，是希望它们能想出新点子，进一步降低停电的可能性和成本。(注)

芝加哥学派

监管机制有用吗？

对监管机制有效性的广泛分析和评估，也坚定了美国解除监管的决心。多少有点儿讽刺意味的是，解除监管的思想根源应该是在芝加哥大学，但也是在这里，塞缪尔·英萨尔播下了成本加成的价格监管机制的种子。不过，芝加哥大学的《法律和经济学杂志》（*Journal of Law and Economics*）发了大量重要文章，要求重新评估监管机制的效果。

最早也是最重要的文章之一是由芝加哥大学的乔治·斯蒂格勒（George Stigler）和克莱尔·弗里德兰（Claire Friedland）于1962年合写的《监管机构能监管什么？电力行业的真相》。作者在文章的开头就直截了当地提出了一种挑衅性的观点，称几乎没有人考虑过关于监管机制的一个最基本的问题：监管机制有用吗？他们的原话是："讨论公共监管的文献资料数量繁多，几乎已经触及了这个问题的方方面面。但是，有一个人们应该问的最基本的问题却很少有人讨论，即使讨论也是浅尝辄止。这个问题就是：监管机制对行业行为是否有影响？"经过广泛的分析，他们的结论是否定的，也就是说，监管机制对电力行业没有影响。他们写道，问题的部分原因在于，观察人士在评估监管机制的有效性时过多地关注了它的行为，而没有考虑它取得了哪些成果，具体来说，就是没有考虑监管机制是否改变了纳税人支付的电价。(注)

斯蒂格勒和弗里德兰声称，只有监管机制能影响供给和需求，电价才会受到监管机制的影响。他们接下来做了三个定量测试，对各州实施监管前后的测试结果进行了比较。最后，他们写道：“我们得出的结论是，监管机制对平均电价没有产生任何影响。”[注]

经济监管理论

在这篇文章发表之后，监管机制（特别是对大型公用事业公司的监管）遭到了持续不断的质疑。1968年，芝加哥大学的哈罗德·德姆塞茨（Harold Demsetz）发表了著名的文章《为什么要监管公用事业公司？》。他说，认为“公用事业公司是自然垄断组织，所以必须加以监管”的观点是不对的。简言之，在他看来，如果当初有大量竞标者争夺垄断专营权，即使竞标结果是某一个供应商最终胜出，其价格同样具有竞争性。[注]

1971年，斯蒂格勒在《贝尔经济学和管理学杂志》（*Bell Journal of Economics and Management Science*）上发表了另一篇同样有影响力的文章《经济监管理论》。这一次，他的研究范围远远超出了电力行业的监管，把各种各样的政府干预手段，比如货币补贴、关税、价格控制等，都纳入其中。经过研究，他发现他可以从关于监管的供给和需求这个角度来写。在这篇文章中，斯蒂格勒驳斥了监管机制的目的是造福公众这个假设。他的理由是：“监管规则是根据行业的需求制定的，因此实施监管的主要目的也是为行业谋取利益。”[注]

1974年，芝加哥大学的法学教授理查德·波斯纳（Richard Posner）沿着斯蒂格勒的方向，进行了更深入的研究。波斯纳希望能够找到一种理论来解释“经济监管”，或者说是“政府干预市场”的模式。他的可选对象有“公共利益”理论，该理论认为监管源于公共需求，以纠正“低效或不公平的市场行为”）；以及“俘虏”理论，

即“利益集团”为了自身的经济利益而请求政府对其进行监管。波斯纳认为，斯蒂格勒建立的是一个新的、改进的、表述更加简洁的俘虏理论，即“经济监管理论”。[注]

1993年，耶鲁大学的法学和经济学教授乔治·普利斯特（George Priest）重新审视了斯蒂格勒和波斯纳引发的那场长达几十年的争论。尽管普利斯特对争论提出了质疑，但他也承认争论“对公共政策产生了非凡的影响”。而且，他的结论得到了电力行业的实践经验的支持。在争论开始后的20年里，公共政策向竞争性改革敞开了大门。20世纪70年代，它们开始培养竞争者；在普利斯特写那篇文章的时候，它们扩大了这些竞争者可用技术的选择范围，并给了后者电网准入的公平机会。由此可见，那场争论确实产生了非凡的影响。[注]

2003年的大停电事件

2003年8月14日，美国东北部和中西部的大部分地区以及加拿大安大略省发生了大面积停电事件。这次事件影响了5000万人的生活，美国有8个州（俄亥俄州、密歇根州、宾夕法尼亚州、纽约州、佛蒙特州、马萨诸塞州、康涅狄格州和新泽西州）的人生活在黑暗之中，冰箱、空调停止运转。美国全面恢复电力供应花了4天的时间，而加拿大的安大略过了一个多星期才恢复电力供应。据估计，这次停电事件给美国造成的经济损失为40亿—100亿美元。[注]

我认为有必要详细介绍一下2003年大停电事件的前因后果，因为一些人将其归咎于美国电力行业解除监管的举措。美国总统小布什和加拿大总理让·克雷蒂安（Jean Chrétien）呼吁美国和加拿大组建联合调查组，对这一事件展开调查。2004年4月，联合调查组的调查报告称：“重组并不是2003年8月14日发生大停电事件的原因。”但是，人们对事件原因的意见仍各不相同。[注]

之后，联合调查组又发布了后续报告，题为“竞争性电力市场与电网可靠性之间的关系”，呼吁10个不同行业的龙头企业和技术专家撰写专题文章。正如预期的那样，人们的意见各不相同。第一篇专题文章是由三位作者撰写的，他们的署名是“支持真理的电力工程师”。这篇文章大胆直接地指出：“解除监管和对美国电力行业进行的结构重组，对北美电网的可靠性产生了毁灭性影响，也是造成2003年8月14日大停电事件的根本原因。”注

相比之下，北美电力可靠性协会（NERC）对未来的态度则更加乐观。该协会是一个存在时间较长的行业组织，负责提高电力系统的可靠性。尽管如此，该协会也承认电力行业正面临巨大的挑战，有必要进行改革。例如，它指出，“新建输电线路的工作受到了融资和成本等不确定因素的阻碍，在各地选址和建造时也受到了抵制”。协会认为最重要的原因是旧的自愿性标准不能确保电力系统的可靠性，“北美电力可靠性协会制定的标准必须对所有电力系统的用户都具有强制性”。注

停电的真正原因到底是什么呢？随着分析工作的不断推进，联合调查组认为停电的原因可总结为一句话，就是“3t，即树木（trees）、培训（training）和工具（tools）”。这个说法很快就得到了普遍认可。比如，北美电力可靠性协会通过对2003年大停电事件的调查，发现公用事业公司“没有适当地控制输电线路沿途树木的生长状况”。该协会还指出了“培训不足”的问题，指的是对紧急状况没有充分的“情境意识”。此外，公用事业公司未能“很好地控制计算机和警报系统”，该地区的电网也存在“工具不完备”的问题。尽管联合调查组认为解除监管与此次事件无关，但他们得出的结论仍令人不安。“树木、培训和工具”这个简明扼要的说法表明大停电事件是由一些基本问题造成的。注

2005年的《能源政策法》

2005年的《能源政策法》是美国国会针对一连串的危机做出的回应，这些事件包括2003年大停电、加州电力危机和安然破产。联邦能源管理委员会充满信心地认为这部法案是一个重要的里程碑。该委员会称：“2005年的《能源政策法》是近十几年来颁布的第一部主要的能源法案，是继罗斯福新政期间的1935年《联邦电力法》和1938年《天然气法》之后，使联邦能源管理委员会的权力发生最重大的变化的法案。”此外，该委员会还说：“国会此举无异于为联邦能源管理委员会投出了极具信心的一票。”(注)

在2003年大停电事件之后，联邦能源管理委员会开始承担起监管“美国电网可靠性”的责任，从中可以看出国会对该委员会的信心。联邦能源管理委员会称：“今天制定的这些规则预示着委员会的监管职责将发生历史性的新转变。”委员会强调，问题的根源在于过去的可靠性标准是自愿性的，而未来的标准则是强制性的。“自20世纪60年代以来，每次发生重大的区域性停电事故，部分原因都在于这种自愿的、不可强制执行的可靠性标准遭到了践踏。”1965年的大停电事件是迄今为止范围最大的一次，影响了3000万人的正常生活，持续时间长达13个小时。事后，一些区域性电力行业组织自发联合起来，成立了北美电力可靠性协会。在1977年纽约市大停电事件和1996年美国西部大停电事件发生之后，都有人提议制定强制性的可靠性标准，但是没有引起重视。联邦能源管理委员会说：“根据2005年的《能源政策法》的这些重要的新规定，遵守电力系统可靠性标准并不是一个自愿的选择，而是强制性的法律规定，一旦违反就会受到严厉的民事刑罚。”(注)

为了制定和执行可靠性标准，联邦能源管理委员会建立了一个新的组织架构，由新成立的电力可靠性组织（ERO）负责监督可靠性标准的执行。2006年7月，经联邦能源管理委员会批准，由北美电力可靠性

公司作为电力可靠性组织履行相应职能。联邦能源管理委员会还建立了新的区域性组织架构，与8个区域性组织合作，目的之一是为区域灵活性创造条件。这种组织架构提出的所有可靠性标准都必须得到联邦能源管理委员会的批准。注

联邦能源管理委员会还被赋予了惩治加州电力危机中出现的不良行为的权力。例如，联邦能源管理委员会明确表示，所有的公用事业公司都已被纳入其监管范围。委员会称，新的法案涵盖了操纵电力生产或输送的所有行为。值得注意的是，该法案规定“对违反规定行为的最高民事处罚力度增大到每天处以100万美元的罚款”，加强了联邦能源管理委员会的执法权。最后，联邦能源管理委员会说，该法案废除了已有70年历史的《控股公司法》，还为“废止《公用事业监管政策法》的强制购买义务”创造了条件。注

2005年的《能源政策法》传递出两种截然不同的信息。为了保证灯光长明（确保电力系统的可靠性），联邦立法机构需要制定更多的法律法规。然而，为了保持低电价、鼓励创新，针对发电商的老旧监管制度也应该被废止，并代之以竞争性市场，同时加大对不良行为的惩罚力度，起到震慑作用。这两种信息，一种是呼吁加强监管，另一种是建议减少监管，以至于当时的人一下子并不知道如何将这两种信息融为一体并付诸实施。

竞争性改革留给世人的遗产

爱因斯坦曾经指出，当旧理论失效时，新的理论就会被广泛接受。类似的事情也发生在电力行业中。20世纪七八十年代，在监管制度下垄断企业保持了几十年的较低电价开始上涨。规模越大效益越好的日子已成为历史，因为垄断性的公用事业公司没有现成的方案来解

决它们面临的问题：成本超支，核电站业绩不佳，石油危机和空气污染。

除了这些难题之外，媒体对加州电力危机、安然破产与2003年大停电事件的大肆宣传，可能也阻碍了美国电力行业解除监管的进程。由此看来，解除监管受阻似乎在所难免，但事实并非如此。主要原因是，在这些事件发生之前的几十年里，有三个机构一直在为解除监管努力，它们分别是美国国会、联邦能源管理委员会和芝加哥大学。1978—2005年，美国国会在不到30年的时间里通过了三部促进竞争性改革的法案。第一部是1978年的《公用事业管理政策法》，虽然这部法案对竞争性改革的促进作用并非有意为之。1992年和2005年通过的两部《能源政策法》放松了对新进竞争者的监管，并向它们开放电网，因此对竞争性改革有明显的促进作用。最有趣的是，2005年的《能源政策法》在促进竞争性改革的同时，还着力解决加州电力危机、安然破产和2003年大停电事件，但有人却认为这三次危机恰恰是由竞争性改革导致的。

与此同时，在国会立法的不断推动下，联邦能源管理委员会出台的一系列规定也对电网准入起到了促进作用。委员会先是逐个考虑电网接入的问题，并以此作为公用事业公司申请合并等交易的获批条件。然后，1996年联邦能源管理委员会颁布的888号法令以法律形式对电网开放进行了规范，并在2000年通过颁布2000号法令将其提升至一个更高的水平。国会和联邦能源管理委员会齐心协力，通过1978年的《天然气政策法》和随后的436号法令和636号法令，共同推动了电力行业的竞争性改革。

芝加哥大学用他们的思想为这次改革助力。20世纪六七十年代，他们通过多种出版物对所有经济监管（包括电力行业的经济监管）的有效性进行了无情但深思熟虑的质疑。

竞争性改革在多个领域给世人留下了宝贵遗产。今天，因竞争性改革而创建的6个地区性市场，正在为超过60%的美国人提供电力服务。也就是说，为这些美国人服务的要么是联邦能源管理委员会创建和监管的5个区域性电网中的一个，要么是得克萨斯州的区域性电网。注

在大约25年（1980—2005年）的时间里，美国废除了运行几十年的单一性监管制度。美国电力行业发生了永久性变化，政府和企业共同提供了竞争性改革的动力。然而，在新千年伊始，更多的变化即将到来。

---

1. George J. Stigler and Claire Friedland, “What Can Regulators Regulate? The Case of Electricity,” The Journal of Law and Economics 5 (1962): 1.

2. J .R. Minkel, “The 2003 Northeast Blackout—Five Years Later,” Scientific American, August 13, 2008, accessed October 1, 2016, <http://www.scientifi american.com/article/2003-blackout-five-years-later/>

3. Order 888 (issued April 24, 1996), Federal Energy Regulatory Commission, 13 - 14, accessed October 1, 2016, <http://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/order888.asp>.

4. Order 888, 14 - 16.

5. Order 888, 17 - 18.

6. Public Utilities Regulatory Policies Act of 1978, United States Bureau of Reclamation, November 9, 1978, accessed October 1, 2016, <http://www.usbr.gov/power/legislation/purpa.pdf>.

7. Russell Ray, “A Report on Combined Cycle Projects in North America,” Power Engineering, February 3, 2014, accessed October 1, 2016, <http://www.power-eng.com/articles/2014/02/a-report-on-combined-cycle-projects-in-north-america.html>; “Natural Gas 1998: Issues and Trends,” Energy Information Administration, 53 - 54, accessed October 1, 2016, <https://news.duke-energy.com/releases/progress-energy-carolinas-to-retire-two-coal-fired-power-plants-oct-1>.

8. Report to Congress on Competition in Wholesale and Retail Markets for Electric Energy,The Electric Energy Market Competition Task Force,23－24,accessed October 1,2016,<http://www.ferc.gov/legal/fed-sta/ene-pol-act/epact-final-rpt.pdf>

9. Order No.888: Final Rule,Federal Energy Regulatory Commission,75 FERC 61,080,2,accessed October 1,2016,<https://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/rm95-8-00w.txt>.

10. Order No.888: Final Rule,1,5－6.

11. Order No.888: Final Rule,1,5－6.

12. Order No.888: Final Rule,4,8.

13. Docket No.RM99-2-000;Order No.2000,Federal Regulatory Commission,December 20,1999,426－27,706,accessed October 1,2016,<http://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/RM99-2A.pdf>.

14. 100万立方英尺≈2.8万立方米。——编者注

15. Phillips Petroleum Co.v.Wisconsin 347 U.S.672 (1954),Justia.com,<https://supreme.justia.com/cases/federal/us/347/672/>;“The History of Regulation,”Naturalgas.org,September 20,2013,accessed October 1,2016,<http://natural gas.org/regulation/history/>.

16. Paul W.McAvoy,“The Natural Gas Policy Act of 1978,”Natural Gas Resources Journal 19 (1979): 812,accessed October 1,2016,<http://lawschool.unm.edu/nrj/volumes/19/4/03_macavoy_natural.pdf>;Natural Gas Policy Act of 1978,Energy Information Administration,accessed October 1,2016,<http://www.eia.gov/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/ngmajorleg/ngact1978.html>.

17. Order No.636—Restructuring of Pipeline Services,17－20,accessed October 1,2016,<http://www.ferc.gov/legal/maj-ord-reg/land-docs/restruct.asp>.

18. Order No.636—Restructuring of Pipeline Services,9.

19. Robert F.Hirsch,Power Loss: The Origins of Deregulation and Restructuring in the American Electric Utility System (1999;Cambridge: MIT Press,repr.2001),Appendix,tables A.2 and A.3.

20. Craig R.Roach,Stuart Rein,and Vincent Musco,A Review of the Southwest Power Pool’s Integrated Marketplace Proposal.Washington,DC:Boston Pacifi,December 30,2010,1－2.

21. Stigler and Friedland, “What Can Regulators Regulate?” 1,11.

22. Stigler and Friedland, “What Can Regulators Regulate?” 8.

23. Harold Demsetz, “Why Regulate Utilities?” The Journal of Law and Economics 11,no.1 (April 1968): 55－57,65.

24. George J.Stigler, “The Theory of Economic Regulation,” The Bell Journal of Economics and Management Science 2,no.1 (1971): 3.

25. Richard A.Posner, “Theories of Economic Regulation,” The Bell Journal of Economics and Management Science 5 (Autumn 1974): 335－36,343.

26. George L.Priest, “The Origins of Utility Regulation and the ‘Theories of Regulation’ Debate,” The Journal of Law and Economics 36 (April 1993): 289－90.

27. “Final Report on the August 14,2003 Blackout on the United States and Canada:Causes and Recommendations,” U.S.-Canada Power System Outage Task Force,April 2004,ii,accessed October 1,2016, <http://energy.gov/sites/prod/files/oepro/DocumentsandMedia/BlackoutFinal-Web.pdf>.

28. “The Relationship between Competitive Power Markets and Grid Reliability,” U.S.Department of Energy and Natural Resources Canada,July 2006,iii,xiii－xvii,accessed October 1,2016, <https://energy.gov/sites/prod/file/oeprod/DocumentsandMedia/Blackout_Rec_12_Final_Report_and T_ransmittal.pdf>.

29. “The Relationship between Competitive Power Markets and Grid Reliability,” 17,19.

30. “The Relationship between Competitive Power Markets and Grid Reliability,” 123－24.

31. Minkel, “The 2003 Northeast Blackout—Five Years Later,” Scientific America,August 13,2008; “Final Report on the August 14,2003 Blackout on the United States and Canada,” 4,10,14.

32. Energy Policy Act of 2005,Federal Energy Regulatory Commission,Fact Sheet,August 8,2006,accessed October 1,2016, <https://www.ferc.gov/legal/fed-sta/epact-fact-sheet.pdf>.

33. Energy Policy Act of 2005; “Commission Finalizes Electric Reliability Rulemaking Pursuant to the Energy Policy Act 2005,” Federal Energy Regulatory Commission,February 2,2006,accessed October 1,2016,

<https://www.ferc.gov/media/news-releases/2006/2006-1/02-02-06-E-1.asp>; “History of NERC,” North American Electric Reliability Corporation, August 2013, 1 - 2, accessed October 1, 2016, <http://www.nerc.com/AboutNERC/Documents/History%20AUG 13.pdf>.

34. “History of NERC,” 4.

35. “Commission Finalizes Rule Barring Market Manipulation”; “Final Rule Revises PURPA Mandatory Purchase Obligation for Electric Utilities, as Mandated by Energy Policy Act,” Federal Energy Regulatory Commission, October 19, 2006, accessed October 1, 2016, <https://www.ferc.gov/media/news-releases/2006/2006-4/10-19-06-E-2.asp>; Energy Policy Act of 2005.

36. “About 60% of the U.S. Electric Power Supply Is Managed by RTOs,” Energy Information Administration, April 4, 2011, accessed October 1, 2016, <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=790>.

第五部分　坚定信念的时代

清洁能源、页岩气和电动车

第17章　全球气候变化问题的解决之道

我确信，没有任何挑战比气候变化对我们的未来和子孙后代的威胁更大。今天，我们齐聚一堂，就是为了解决这个问题。

——巴拉克·奥巴马（2015）㊟

2007年，美国前副总统阿尔·戈尔和联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）共同获得了诺贝尔和平奖。诺贝尔奖评审委员会表示，之所以把该奖项颁发给他们，是为了表彰“他们收集和传播了人为因素造成的气候变化的重要知识，并为采取措施应对这种变化奠定了基础”。特别是戈尔，“为了让全世界人民了解应该采取哪些措施，（他）可能是开展相关宣传工作的第一人”。除了诺贝尔和平奖，戈尔拍摄的关于气候变化的纪录片《难以忽视的真相》在2007年还获得最佳纪录片和最佳原创歌曲两项奥斯卡奖，其有声读物版本获得了格莱美奖，上演了奖项“帽子戏法”。㊟

诺贝尔和平奖和那部广受赞誉的纪录片共同揭示了21世纪前10年的全球气候变化问题的严重程度。全球气候变化，或者更精确地说全球变暖，是几十年来科学研究的一个主题。尽管对它的简单介绍非常易于理解，但在一个很小的专家圈子之外，这个概念几乎没有引起任何人的注意。事实上，直到20世纪70年代，气候科学关注的核心问题仍然是下一个冰河时代——全球变冷，而不是全球变暖。

太阳光射到地球上，一部分阳光带着热量被反射回空中。很早以前，人们就已经非常熟悉这些基础科学知识了。然而，还有一些热量被大气层中的某些物质留在了地球表面。这是好事，如果没有温室效

应，地球表面的温度就会过低，不适合人类生存。然而，即使是不可或缺的东西也会过犹不及，温室效应过大会导致平均温度升高。二氧化碳是大气中最重要的元素之一，也是最丰富的“温室气体”之一。

电力行业与温室效应有着非常明显的直接联系。当发电厂利用煤炭、石油和天然气等化石燃料发电时，就会排放二氧化碳和其他温室气体。的确，在美国每年排放的温室气体中，约有30%来自电力生产。如果美国决定大幅降低二氧化碳排放量（就像戈尔和联合国政府间气候变化专门委员会建议的那样），那么电力行业必须从根本上做出改变。注

国会差点儿就因此通过了一部重要的法案。2009年，“瓦克斯曼—马尔凯法案”在美国众议院投票通过，但未在参议院获准通过，本章后续部分将解释其中的原因。该议案建议在2005年的基础上减少83%的温室气体排放，如果真的这样做，美国人生活的方方面面都将受到影响。由于立法这条路走不通，环保主义者们便另辟蹊径，试图通过法庭来获得温室气体排放的监管权，其结果是奥巴马总统于2015年8月提出的“清洁能源计划”。注

全球气候变化问题

全球气候变化的科学研究

全球气候变化的科学研究于19世纪初被正式提上议事日程。1824—1827年，法国科学家、数学家约瑟夫·傅里叶（Joseph Fourier）对地球大气层进行了一系列数学研究。首先提出大气层把热量留在地球表面会产生温室效应的人就是傅里叶。英国科学家约翰·丁达尔（John Tyndall）也研究了大气层中的气体吸收热量的现象。具有讽刺意味的是，丁达尔的研究主题是冰河时代，所以他对温室气体持欢

迎态度。1896年，瑞典科学家斯凡特·阿伦尼斯（Svante Arrhenius）在一篇论文中计算了二氧化碳对全球变暖的影响。他发现，如果大气中的碳含量减少55%~62%，地球上可居住地区的温度就会降低4~5摄氏度。当然，他的研究重点也是冰河时代。为什么他们都在研究冰河时代呢？这是因为冰河时代在当时被视为一种迫在眉睫的威胁，因为它会造成农作物歉收，进而导致饥荒。注

1910年，一些科学家提出阿伦尼斯的计算是错误的，他们认为地球的温室气体已经达到上限。此外，他们说二氧化碳不会在大气层中积聚，因为海洋会吸收多余的二氧化碳。今天，研究全球气候变化的现代理论仍然在考虑这场早期科学辩论提出的主要问题。注

人类会影响全球气候吗？

困扰人们时间最长、难度最大的一个问题是：人类到底会不会对全球气候产生影响？20世纪20年代，俄罗斯的地质学家弗拉基米尔·沃尔纳德斯基（Vladimir Vernadsky）说："人类作为一个整体，对地球的影响作用正在不断加大。"1938年，英国科学家盖伊·斯图尔特·卡伦德（Guy Stewart Callendar）也得出了同样的结论。他说，人类排放的二氧化碳会使地球温度升高。然而，他又补充说，我们无须恐慌，因为地球温度升高可能有利于寒冷地区的农业发展。1955年，美国海军研究办公室的吉尔伯特·普拉斯（Gilbert Plass）在一篇题为"气候变化的二氧化碳理论"的文章中指出，由于人类的"活动"，全球气温每100年就会升高1.1摄氏度。注

其他科学家也在做进一步的调查，其中最引人关注的一个问题是，化石燃料排放的二氧化碳能被海洋吸收吗？1957年，汉斯·休斯（Hans Seuss）和罗杰·雷维尔（Roger Revelle）在加利福尼亚大学圣迭戈分校的斯克里普斯海洋研究所发表了一篇有影响力的论文。他们发现，从19世纪中叶的工业革命开始到1950年前后，"化石燃料排

放到大气中的二氧化碳”每10年就会增加近11倍。雷维尔后来加入的一个委员会曾于1965年向约翰逊总统的科学咨询委员会提交了一份报告，题目是“恢复我们的环境质量”。这份报告重申了雷维尔与休斯在他们写作的那篇论文中发出的警告：“人类正在下意识地做一个巨大的地球物理实验。”注

基林曲线

查尔斯·戴维·基林（Charles David Keeling）是温室效应研究领域最令人尊重的权威专家之一，他的大部分职业生涯都是在斯克里普斯海洋研究所度过的。基林对全球气候变化的主要科研贡献就是找到了一种精确测量大气中二氧化碳浓度的方法。这是一项非常重要的成就，有了它，科学家就能测试某些核心假设，比如雷维尔和休斯提出的碳排放是全部还是部分被海洋吸收的问题。基林根据他在夏威夷的莫纳罗亚天文台取得的测量结果，绘制出基林曲线。运用这条曲线，他跟踪研究了自20世纪50年代到2005年的大气中二氧化碳浓度的变化情况。他发现，1958年大气中的二氧化碳浓度是310ppm（百万分之310），而到2005年，二氧化碳浓度已经上升至378 ppm，有时还会超过400ppm。二氧化碳浓度上升，是全球气候变化中最令人担心的问题。注

1963年，基林、普拉斯和其他专家通过保护基金会发布了一份报告，就全球气候变化问题发出了直白的警告。报告称，二氧化碳浓度增加一倍，全球平均温度就会升高至少2.1摄氏度。1966年，美国国家航空航天局（NASA）建议扩大某项研究计划的规模，以及将研究预算从500万美元增加到3000万美元。注

基林的贡献同时得到了美国民主党和共和党的认可。1997年，美国副总统戈尔在白宫举行的仪式上为基林颁发了一个特别成就奖。

2002年，美国总统小布什为基林颁发了美国国家科学奖章，这是美国的最高科学奖。

确凿的实物证据

大多数人都认为，找到全球变暖的实物证据比计算机模型的预测结果更有说服力。研究者们通过从格陵兰岛和南极钻取的冰岩心，以及在海床和湖床钻取的岩心，测算出多年前的二氧化碳浓度和气温，并与现在的二氧化碳浓度和气温进行比较，得到了一些有说服力的实物证据。有了这些“核心”证据，科学家就可以将现在的二氧化碳浓度与数十万年前做比较，检测出历史上气温变化的次数、强度和速度，判断出用哪种理论解释气候随时间变化的效果最好。每个冰层都是在特定的时间点形成的，所以冰芯就像摞在一起的时间胶囊。苏联—法国联合科考队在南极沃斯托站钻取的冰芯最好，能够提供40万年前的气温数据。1969年，一份关于格陵兰岛和南极冰芯的分析报告称，科学家们发现全球平均气温的上升幅度多达10摄氏度。这是我们最早获得的关于二氧化碳浓度不断上升的科学证据之一。(注)

断断续续的警告

随后，为数不多的科学家发起了一场断断续续的宣传活动。不时有人站出来发出警告，尽管影响范围不大，他们彼此之间也没什么联系，但中心思想都是告诉全世界，危险已经迫近，必须采取应对措施。1972年，联合国在斯德哥尔摩召开了人类环境会议。20世纪70年代中期，威斯康星大学的里德·布莱森（Reid Bryson）认为，气候变化可能用不了几千年，而是在几百年之后就会发生。他的观点引起了人们对气候问题的进一步关注。1976年，美国国会的一个委员会举行听证会，听取科学家们对二氧化碳排放的看法。1977年，《纽约时报》头版刊登了一篇题为“科学家们担心大量使用煤炭可能导致气候发生不利变化”的文章。1978年，美国国会通过了《国家气候计划

法》。不过，物理学史研究中心的斯宾塞·维尔特（Spencer Weart）说："没有任何权威人士提议对二氧化碳排放进行监管，也没有人提议对政策进行修改，以直接处理温室气体排放问题。"注

20世纪70年代，人们并没有就全球变暖问题达成共识，甚至还有些人在担心全球变冷的问题。从当时的报纸头条可以看出此言不假。比如，1970年的《华盛顿邮报》（*Washington Post*）曾报道："寒冷的冬天开启了新冰河时代"。1974年，《时代周刊》发问："又一个冰河时代？"1979年，《基督教科学箴言报》（*Christian Science Monitor*）忧心忡忡地质疑："新冰河时代即将来临？"注

后来，这种报道仍在继续，但关注的焦点已经从冰河时代再次到来转变为全球变暖。1977年，美国国家科学院提出，真正需要担心的是全球变暖，而不是变冷。美国国家航空航天局戈达德太空研究所的科学家吉姆·汉森（Jim Hansen）认为，尽管20世纪70年代全球气温一直在降低，但到20世纪80年代，情况发生了逆转。汉森确信，到2000年应该可以找到全球变暖的明显证据。随着时间的推移，汉森为敲响全球变暖警钟的主要科学家之一。注

《蒙特利尔议定书》

围绕氯氟烃的公开辩论和相关政策，让普通人也开始关注起全球气候变化问题。从具体细节看，氯氟烃政策可以作为通过国际协议解决全球气候变化问题的一个榜样。氯氟烃是一种人造化学物质，通常认为它们不具危险性，部分原因在于它们的数量一般较少，化学性质也比较稳定。这种化学物质经常被用来制造杀虫气雾剂和制冷剂。由于化学性质较为稳定，它们不会与植物或动物发生反应，但是研究发现，这个特点会导致一个问题。由于它们可以长时间驻留在大气中，所以它们有足够的时间上升到平流层，并在那里受到太阳紫外线照射分解出氯气自由基，破坏臭氧层。臭氧层实际上是保护地球生物免受

紫外线伤害的一道防线，紫外线会导致皮肤癌。1987年，46个国家签署了《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》（简称《蒙特利尔议定书》），承诺对破坏臭氧层的化学物质进行严格管制。2009年，这项条约成为历史上第一个得到全世界所有国家普遍认可的国际公约。注

重要的是，《蒙特利尔议定书》反映了一个事实：尽管人类正在破坏地球大气层，但各国可以齐心协力减轻这种危害。

联合国政府间气候变化专门委员会

20世纪90年代的报告

1988年，联合国成立了政府间气候变化专门委员会，把对全球气候变化问题的重视程度提升至一个新层次。政府间气候变化专门委员会旨在把科学、政府和政治结合起来，去解决人为的全球气候变化问题。1990年，该委员会发布了第一份报告，其中的一个主要观点是：如果维持现状，也就是说，如果委员会描述的情况仍在继续，那么“到2025年全球平均气温可能会比现在高出1摄氏度左右，在21世纪结束前，全球平均气温将会再升高2摄氏度”。委员会公开承认“我们的预测具有不确定性”，并且指出这些不确定性是由“我们对云层、海洋和极地冰盖理解得不够充分”造成的。此外，1990年，委员会并没有说“全球变暖的主要原因可能是……气候的自然变化”这个观点一定是错误的。注

1992年，183个国家代表团出席了在巴西里约热内卢举行的联合国环境与发展大会，签署了《联合国气候变化框架公约》，并就《保护生物多样性公约》《关于森林问题的原则声明》和《21世纪行动议程》达成了不同程度的一致意见，这是“实现21世纪可持续发展的计

划”。之后，很多人都期待着联合国政府间气候变化专门委员会1995年的年度报告的出炉。这份报告得出了一个最终结论：“综合多种证据表明，人类对全球气候产生了明显的影响。”注

1997年在日本京都召开的《联合国气候变化框架公约》缔约方第三次大会，是政府间气候变化专门委员会完成的又一个重大举措。会议期间，美国提议将二氧化碳排放量降低到1990年的水平，但欧洲国家希望进一步加大减排力度。美国副总统戈尔带头支持通过《京都议定书》。根据《京都议定书》，发达国家承诺2008—2012年将二氧化碳排放量减少到比1990年低5%的水平；但发展中国家不受此约束，它们只需要报告自己国家的排放量，并提出“减排”计划即可。然而，《京都议定书》在美国国内并没有受到欢迎，美国参议院以95票对0票否决了这个议定书，并称如果发展中国家得到豁免，他们将拒不批准《京都议定书》。注

2014年报告

政府间气候变化专门委员会的研究报告被多国政策制定者视为研究全球气候变化的原因和影响的确切信息来源，美国环保局的“危害发现”计划也不例外，已经成为多国依据现行法律监管温室气体排放的基础。该委员会的第五次评估报告《气候变化2014：减缓气候变化》中包含一份“决策者摘要”，给出了一些大胆的结论。总的来说，这些结论表明，人们已经意识到全球气候变化的负面影响；人类活动是造成这些影响的一个重要原因；为了防止继续造成更严重的影响，需要大量减少排放。注

委员会特别指出：“气候系统变暖是毫无疑义的。自20世纪50年代以来，已经观察到过去几十年乃至上千年里从未发生的多种变化，包括大气和海洋变暖，冰雪数量减少，海平面上升。”至于有人怀疑人类活动是不是造成这些变化的原因之一，委员会强调说：“人类对

气候系统的影响是显而易见的……自前工业化时代以来，受经济和人口增长的驱动，人类活动产生的温室气体有所增加，现在的排放量更比以往任何时候都高。因此，大气中二氧化碳、甲烷和一氧化二氮的浓度达到了80万年来的最高水平。”委员会的结论十分明确，没有丝毫含糊。[注]

把全球变暖与人为原因联系在一起，具有非常重要的意义，因为它表明人类可以通过减少二氧化碳排放的方式应对全球变暖问题。为了明确说明人类在其中起到的作用，政府间气候变化专门委员会再次强调：如果2100年温室气体排放可以将二氧化碳的浓度控制在450ppm及以下水平，就可以使气温的上升幅度保持在2摄氏度左右。这是委员会不希望人类跨越的门槛，报告指出，到2050年“人为”温室气体排放（也就是与人类活动相关的温室气体排放）必须在2010年的基础上减少40%~70%。此外，在2100年之前，还要进一步加大温室气体排放的控制力度，使2100年的排放量达到接近零及以下水平。[注]

这些大胆的结论理由充分、证据确凿，但这些理由和证据并没有出现在决策者摘要中，而是出现在报告的其他部分（整份评估报告的篇幅非常长）。《经济学人》称这份报告是“一项浩大的工程”，因为它“长达数千页，由数百名科学家合力完成，还有其他数百名研究人员和政府官员（他们也是这份报告的受众）进行了详尽的检查与再检查”。然而，从决策者摘要看，这份报告正以一种诚实而笨拙的方式，试图让读者感受到委员会对它得出的每一个结论都充满信心。[注]

政府间气候变化专门委员会的评估报告也曾遭到批评或引发争议。例如，2010年1月，委员会的主席和副主席承认在2007年的第四次评估报告中出现了一个错误。他们首先指出，关于水资源面临压力的结论（包括冰川正在加速融化），总体上没有任何问题。不过，他们对报告中关于喜马拉雅山冰川消融速度的“证据不足的估计”表示遗

憾。2007年的报告认为喜马拉雅山冰川可能会在2035年消失，但这个结论是没有根据的。㊟

在政府间气候变化专门委员会遭到批评之后，时任联合国秘书长的潘基文于2010年要求国际科学院委员会审查政府间气候变化委员会的工作程序。国际科学院委员会调查发现，政府间气候变化专门委员会的工作程序需要更新，因为全球气候变化问题正变得越来越复杂，需要“增加透明度”，以及采取“加强治理和管理”“改进调查过程”等补救措施。由于国际科学院委员会是由各国科学院组成的国际组织，它会让我们想起那些矢志不渝从事科学研究和磨砺个人品质的伟大科学家，包括富兰克林、法拉第、麦克斯韦、特斯拉和爱因斯坦。㊟

《难以忽视的真相》

2006年，阿尔·戈尔将大众的注意力引到了一个在他看来难以忽视的真相上。戈尔认为，自18世纪工业革命以来，人类排放的二氧化碳和其他温室气体导致全球变暖，其后果可能是灾难性的。显然，他看到的是一个糟糕的未来。之所以说这是一个难以忽视的真相，是因为美国乃至整个世界必须从根本上改变能源的生产方式，以及家庭、汽车和工厂对能源的使用方式，才有可能避免灾难降临。《难以忽视的真相》这部纪录片呈现出一系列视觉和言语证据，向观众发出了令人信服的警告：全球变暖已经发生，我们必须立即采取果断的行动。在这方面，戈尔忠实地模仿了蕾切尔·卡森用《寂静的春天》倡导人们关注环保的做法。

这并不是戈尔第一次发起环保行动。早在1992年，戈尔就出版过一本书《平衡的地球》（*Earth in the Balance*）。在书中，戈尔大

声疾呼要以环境为中心，把对环境问题的关注提到世界的议事日程的中心位置上来。

《冷静一点》（*Cool It*）是比约恩·隆伯格（Bjorn Lomborg）于2010年创作的一本书和同名纪录片，它从另外一个视角对戈尔的《难以忽视的真相》做出了回应。隆伯格并没有试图反驳全球正在变暖而且人类应该承担部分责任的说法，而是在预防和适应之间做出了选择，这是他对全球气候问题做出的最显著贡献。面对全球气候变化，他认为无须预防，因为人类在遇到困难时有很强的适应能力。(注)

瓦克斯曼—马尔凯法案

2009年，当众议院通过《美国清洁能源安全法》时，那些希望美国政府采取行动减少温室气体排放的人感到欢欣鼓舞。这个议案通常被称作“瓦克斯曼—马尔凯法案”，因为它的发起者是来自加利福尼亚州的民主党众议员亨利·瓦克斯曼（Henry Waxman）和来自马萨诸塞州的民主党参议员埃德·马尔凯（Ed Markey）。众议院以219票赞成、212票反对的微弱票数差通过了这项议案。(注)

议案的核心内容是一项配额交易政策，该政策曾于1990年作为酸雨治理立法的一部分，在全美范围内首次实行。配额是指在全美范围内设置二氧化碳和其他温室气体排放的上限，在未来这一上限将不断降低，从而不断减少排放。到2020年，计划将排放量降低至比2005年少17%的水平，到2050年将降至比2005年少83%的水平。显然，该减排目标是基于前文提到的政府间气候变化专门委员会设定的减排目标，即将全球平均气温相较于前工业化时代的上升幅度控制在2摄氏度及以下的水平。(注)

议案中的“交易”部分是指采用以市场为基础的监管方式，而不是命令和控制的方法。就像酸雨治理立法一样，必须先设立某个标准，只有符合标准才能获得排放许可证。而且，每个许可证都允许其持有者向大气中排放一吨二氧化碳，因此，这些许可证又被称为“配额”。人们希望，通过出售或“交易”配额以获取某种利益的做法，可以把实现减排目标的成本降至最低。为了尽可能降低减排成本，“瓦克斯曼—马尔凯法案”还有一个“碳补偿”的灵活机制。如果某个温室气体排放源不在该议案的监管范围内，但也同意减少温室气体排放，就可以产生碳补偿。可以说该议案还有诸多规定，它们不仅难于理解，执行时情况也非常复杂。

在众议院获准通过之后，“瓦克斯曼—马尔凯法案”于2009年7月6日被提交给参议院，但是参议院迟迟没有进行投票表决。布莱恩·沃尔什（Bryan Walsh）为《时代周刊》杂志写了一篇题为“为什么气候议案胎死腹中”的文章，他认为根本原因在于美国民众并没有要求改变现状。这种需求不足从白宫兜售该议案时使用的说辞就可以看出来，白宫给出的理由是绿色就业，而不是全面应对全球气候问题。由于无法在参议院获得所需的60票赞成票，议案的支持者们干脆开辟了一个新战场——法庭。注

美国环保局的危害发现报告

对于那些因为参议院没有采取行动而感到失望或者高兴的人来说，这些都为时尚早，因为B计划即将登场。“瓦克斯曼—马尔凯法案”可能已经夭折，但是温室气体排放监管并没有彻底失败，因为通过法院系统可以为它开辟另一条可行的道路。对于温室气体排放监管的支持者来说，只要法院认定根据既有的《清洁空气法》，美国环保局已经拥有这项监管权，他们就心满意足了。这样一来，就没有必要让国会通过一部新的法律了。

2003年，小布什政府裁定，《清洁空气法》不能赋予美国环保局温室气体排放的监管权。美国12个州和其他环保组织对此提出上诉。2007年4月，最高法院要求环保局回答一个问题，即《清洁空气法》是否可以对温室气体排放实施有效监管。具体来说，最高法院要求环保局确定新机动车辆排放的温室气体是否会“导致或造成空气污染，而且有理由认为这些污染可能会危害公共健康或福利”，或者解释为什么“科学的不确定性如此大，以至于环保局无法做出合理的判断”。注

解决这些问题花了很长时间，准确地说是两年半的时间。2009年12月，在奥巴马政府的领导下，美国环保局调查发现，有11种温室气体混合在一起，会危害当代以及未来几代人的公共卫生和公共福利。在这次“危害发现”报告中，环保局解释了温室气体浓度增加所造成的危害，包括“热浪”“极端天气”“野火、洪水、干旱”“大范围的冰雪融化”。环保局还强调，“儿童、老年人和贫困人口最容易受到伤害”。注

危害发现是控制温室气体排放的第一个重要步骤。正因为如此，环保局不仅对汽车进行了调查，还把调查范围扩大到所有主要的固定污染源与排放设施。此举取得了重大突破，环保局不仅可以监管汽车的温室气体排放，还可以对发电厂的排放情况实施监管。注

环保局还发现，“全球大气和海洋的平均温度上升，大范围的冰雪融化，以及全球性海平面上升现象”，这些证据充分证明“气候系统变暖是不容置疑的事实”。环保局的报告称：“史上最热的10个年份中有8个都在2001年之后。”环保局利用联合国政府间气候变化专门委员会的预测数据对未来进行了展望：“在21世纪结束之前，预计全球气温升高的平均幅度（相比1990年前后的平均气温）取决于温室气体排放情况和气候敏感性假设，而且变化幅度非常大，在1.8摄氏度到4摄氏度之间。”在大多数情况下，政府间气候变化专门委员会为平均

气温变化幅度设定的2摄氏度的界限都会被超越。因此，全球气候变化的负面影响几乎肯定会落在我们头上。注

与环保局发布危害发现报告的时间离得很近，《联合国气候变化框架公约》第15次缔约方会议于2009年12月在丹麦首都哥本哈根召开。《经济学人》在2010年11月的封面报道中称："在哥本哈根峰会之后，越来越多的人认为预防严重的气候变化的努力越来越弱了。"随后，这篇文章讨论了"如何适应气候变化"，并支持从预防向适应气候变化转换。换句话说，它支持《冷静一点》倡导的方式，而不赞同《难以忽视的真相》呼吁的做法。注

《巴黎气候变化协定》

2015年12月，《联合国气候变化框架公约》第21次缔约方大会在巴黎举行。会议的主要成果——《巴黎气候变化协定》，代表了各国在应对全球气候变化问题上取得的进展。不过，如何评估取得的进展，在很大程度上则取决于各国在会议召开前的预期。2015年12月16日，两位备受尊敬的作家发表了两篇评论文章：专栏作家乔治·威尔（George Will）的文章标题是"《巴黎气候变化协定》是应对气候问题之路上的又一个错误的'转折点'"；而专栏作家托马斯·弗里德曼（Thomas Friedman）的观点正好与威尔相反，他的文章标题是"《巴黎气候变化协定》非常了不起"。注

值得注意的是，这两位专栏作家对这次会议的预期都很低。威尔认为，任何能让近200个国家共同签署的协议"基本上都有一个远大的目标，鼓励缔约国自愿遵守，对它们的期望也不会太高"。弗里德曼得出的结论是，那些比较低的期望被"完美地"满足了。注

但是，两位专栏作家评价《巴黎气候变化协定》的角度存在根本性不同。威尔从富兰克林和爱迪生时代的优势写起。也就是说，他把注意力集中在化石燃料带来的好处上，并指出化石燃料是“持续的经济增长所需要的，是科学和技术保持活力的必要前提”。最后，威尔直言不讳地说：“燃烧煤炭对环境造成的危害（释放二氧化碳、放射物和汞）相较于它在环境和其他方面带来的好处是微不足道的。”[注]

与之形成鲜明对比的是，弗里德曼以危机时代为切入点，重点关注如何减轻燃烧化石燃料造成的严重危害。他从《巴黎气候变化协定》中看到了巨大的希望，他认为许多国家“愿意制订可验证的减排计划，以及稳定减少本国的碳排放量”，这意味着将全世界的碳浓度控制在理想水平上，使气温增幅不高于2摄氏度的“可能性”是存在的。他还希望所有国家都能通过《巴黎气候变化协定》恢复彼此之间的“建设性接触”，从而在2050年前后彻底停用所有化石燃料。有趣的是，他倾向于靠市场来实现这一目标，具体来说就是为碳排放明码标价。[注]

《华尔街日报》认为，巴黎气候变化大会自我标榜的成功“从根本上看不过是一个幻想和一次贿赂”。试图凭借“没有强制力的自愿机制”达到目标，只是一个幻想。《华尔街日报》所说的“贿赂”是指在2020年之前，发达国家向发展中国家提供的每年1000亿美元的气候援助资金。[注]

在各种各样的因素和想法的驱动下，无数人发表了对全球气候变化这个问题的看法。奥巴马总统说，应对全球气候变化是最艰巨的挑战，其难度不小于美国金融危机之后的经济复苏和阿富汗战争。[注]

罗马天主教教皇方济各也很重视这个问题。2015年5月24日，他在教皇通谕《愿你受赞颂：论爱惜我们共同的家园》中指出，我们在气候变化问题上取得的进展“非常小，令人遗憾”，化石燃料必须“被

逐步替代，这项工作不容迟疑”。教皇是在一个非常宽泛的背景下提出这些观点的，字里行间透露出一种虔诚的语气。他提及了包括生物多样性在内的一系列环境问题，还将环境问题与贫困联系在一起，指出“同样的心态不仅阻碍人们采取有力措施去解决全球变暖问题，也阻碍人们实现消除贫困的目标”。注

奥巴马总统的《清洁能源计划》

美国最高法院将处理全球气候问题的权力交给了环保局，奥巴马总统应该如何使用这项权力呢？鉴于联合国政府间气候变化专门委员会没有制定全球性政策，奥巴马是否会单方面采取行动呢？从2015年8月3日美国环保局公布的“清洁能源计划”草案中可以看出蛛丝马迹。环保局称该计划具有“非常重要的历史意义”，并且说“它是美国处理发电厂碳污染的首个国家标准”。环保局还在同一天发布了适用于基本负荷较大的新建发电厂的污染物排放监管标准，这意味着传统的燃煤发电厂已成为历史。环保局要求所有新建的燃煤发电厂都必须使用新技术，比如高效的燃煤发电技术，以及碳捕获与封存技术。注

该计划草案共1500页，很少有人真的读完它，但坚决支持或者强烈反对它的人却为数不少。“清洁能源计划”要求电力供应商必须在2030年之前，将既有发电厂的二氧化碳排放量在2005年的基础上减少32%，这个目标需要联邦政府和各州合作完成。从本质上讲，由联邦政府确定各州的减排量，由各州制订计划，以实现减排目标。为此，环保局针对全美同时发布了每兆瓦时的二氧化碳排放标准和以吨为单位的二氧化碳减排总量。注

环保局分三个“模块”解释了排放标准和减排总量是如何确定的。一是“通过提高燃煤发电厂的热耗率”，实现二氧化碳减排。二是以“既有的低排放天然气发电厂”取代既有的燃煤发电厂，实现二

氧化碳减排。三是以“新的零排放的可再生能源”（比如风能和太阳能）替代现有的燃煤发电厂，实现二氧化碳减排。[注]

此外，环保局还解释了实施“清洁能源计划”的必要性。环保局经常依靠其他权威组织，解决全球气候变化问题。环保局的危害发现报告就十分依赖政府间气候变化专门委员会的数据。在解释“清洁能源计划”的必要性时，环保局利用了危害发现报告，也用到了其他报告。比如，环保局引用了“美国全球变化研究计划”2014年发布的报告，该报告的结论是：“人类排放（的温室气体）导致气候变化的现象正在发生，美国也不例外”。[注]

实物证据只要能找到，就都是第一选择。环保局使用过美国国家航空航天局提供的一张表示几十万年来二氧化碳浓度变化的图表，从这份取自冰芯的实物证据可以看出，历史上二氧化碳的浓度为200ppm~300ppm，但现在已经高达400ppm。这向我们发出了一个明确的警告：当今世界正徜徉在一片未知水域之中。

环保局还为“清洁能源计划”找到了法律依据，但法律界的争论涉及该计划方方面面的具体内容。2016年2月9日，美国最高法院裁定，在美国哥伦比亚特区联邦巡回上诉法院要求复审的申请得到批准后并由最高法院复审之前，暂缓执行“清洁能源计划”。由此可见，这项计划遭到了法律界的阻碍。《华尔街日报》称暂缓实施是一个“令人意外的决定”，《纽约时报》则称其为“不同寻常的决定”。[注]

美国的环境组织之一塞拉俱乐部的律师布鲁斯·尼尔斯（Bruce Nilles）说：“在诉讼环节，美国最高法院还从来没有做出暂缓执行的裁决。他们只在死刑案件中才会这样做。”从尼尔斯的话中我们可以看出最高法院做出暂缓执行裁决的理由。如果最高法院没有阻止，

环保局就有可能继续实施“清洁能源计划”，直到发现这项计划违背了美国宪法。就像死刑案件一样，一旦执行就无法补救了。注

减排政策留给世人的遗产

现在，致力于解决全球气候变化问题的减排政策在电力行业占据了主导地位。通过“清洁能源计划”对既有发电厂的管理和污染物排放标准对新建发电厂的约束，美国环保局将对电力行业的所有重大决策产生影响。比如，是否建造新的燃煤发电厂，以及既有的燃煤发电厂是否以及何时停止运营。此外，环保局对新增的可再生能源发电厂的性质和增幅也产生了重要影响。要实现温室气体排放量在2005年的基础上减少32%的减排目标，替代化石燃料的可再生能源必须发挥主要作用。环保局也将进一步推动燃气—蒸汽联合循环发电厂的建设。

令人失望的是，环保局并没有就如何解决全球气候变化问题进行公众投票，更不用说就“清洁能源计划”中的激进方法及减排标准进行辩论了。如果没有国会的投票，预防还是适应变化等关键性决策问题就无法通过辩论加以解决。此外，单方面采取积极预防措施的风险在于，美国人民最终可能需要为应对全球气候变化买两次单。一方面，为了预防全球气候变化，美国人需要单方面减少美国的排放量。另一方面，为了适应全球气候变化，美国人也需要付出代价，因为美国一国的政策根本无法阻止全球气候变化。如果除了碳排放之外，其他因素也会导致全球气候变化，那么，不管其他国家是否履行了应尽的职责，美国人都要为适应气候变化付出代价。

在如何应对全球气候变化这个问题上，美国国会理应进行公开辩论和公众投票。法庭裁决并不是可行之道。要解决这个问题，最重要的是所有国家都开诚布公，达成并遵循一个有效的折中方案。但是，在这个时代，这似乎是一个遥遥无期的目标。

2017年3月28日，美国总统特朗普签署了一项行政命令，要求重新评估“清洁能源计划”。重新评估有可能导致该计划被废除或被替代，但不管结果如何，全球气候变化对于当下和未来的电力业务而言都是一个争议不断的问题。

---

1. “Remarks by the President in Announcing the Clean Power Plan,” Whitehouse.gov,August 3,2015,accessed October 1,2016, <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/08/03/remarks-president-announci-clean-power-plan>.
2. “The Nobel Peace Prize 2007,” Nobelprize.org,accessed October 1,2016,<http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/peace/laureates/2007/>; “Al Gore,Climate Panel Share Nobel Peace Prize,” National Geographic,October 12,2007,accessed October 1,2016, <http://news.nationalgeographic.com/news/2007/10/071012-peace-nobel.html>.
3. “Sources of Greenhouse Gas Emissions,” Environmental Protection Agency,accessed October 1,2016, <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>.
4. J ohn M.Broder,“Obama to Go to Copenhagen with Emissions Target,” New York Times,November 25,2009,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2009/11/26/us/politics/26climate.html?_r=0>; “The American Clean Energy and Security Act (Waxman-Markey Bill),” Center for Climate and Energy Solutions,accessed October 1,2016, <http://www.c2es.org/federal/congress/111/acesa>.
5. Lokenath Debnath,“A Short Biography of Joseph Fourier and Historical Development of Fourier Series and Fourier Transforms,” International Journal of Mathematical Education in Science and Technology 43,no.5 (2012): 595;John Tyndall,“The Bakerian Lecture: On the Absorption and Radiation of Heat by Gases and Vapours,and on the Physical Connexion of Radiation,Absorption,and Conduction,” Philosophical Transactions of the Royal Society of London 151 (1861),accessed October 1,2016, <http://web.gps.caltech.edu/~vijay/Papers/Spectroscopy/tyndall-1861.pdf>;Mike Hulme,“On the Origin of ‘The Greenhouse Effect’: John Tyndall’s 1859 Interrogation of Nature,” Royal Meteorological Society 64 (2009): 123,accessed October 1,2016,doi: 10.1002/wea.386;Svante

Arrhenius,“On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground,”Philosophical Magazine and Journal of Science,ser.5,vol.41 (April 1896): 267–69,accessed October 1,2016, <http://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf>;Geoffrey Parker,“Lessons from the Little Ice Age,”New York Times,March 22,2014,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2014/03/23/opinion/sunday/lessons-from-the-little-ice-age.html?_r=0>.

6. Spencer R.Weart,The Discovery of Global Warming (Cambridge,MA: Harvard University Press,2003),8.

7. Andrew C.Revkin,“Earth Is Us,”New York Times,January 28,2008,accessed October 1,2016, <http://dotearth.blogs.nytimes.com/2008/01/28/earth-is-us/?_r=0>;G.S.Callendar,“The Artificial Production of Carbon Dioxide and Its Influence on Temperature,”Journal of the Royal Meteorological Society,May 19,1937,223,236,accessed October 1,2016,<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/qj.49706427503/epdf>;Leo Hickman,“How the Burning of Fossil Fuels Was Linked to a Warming World in 1938,”The Guardian,April 22,2013,accessed October 1,2016, <https://www.theguardian.com/environment/blog/2013/apr/22/guy-callendar-climate-fossil-fuels>;Gilbert Plass,“The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change,”Tellus 8,no.2 (1955): 153,accessed October 1,2016,<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.2153-3490.1956.tb01206.x/pdf>.

8. Roger Revelle and Hans E.Seuss,“Carbon Dioxide Exchange Between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO^2 during the Past Decades,”Tellus 9 (1957): table 1,accessed October 1,2016,<http://uscentrist.org/platform/positions/environment/context-environment/docs/Revelle-Suess1957.pdf>;“Restoring the Quality of Our Environment,”President’s Science Advisory Committee (1965): v,126,accessed October 1,2016, <http://dge.stanford.edu/labs/caldeiralab/Caldeira%20downloads/PSAC,%201965,%20Restoring%20the%20Quality%20of%20Our%20 Environment.pdf>.

9. “Charles David Keeling Biography,”Scripps Institution of Oceanography,accessed October 1,2016, <http://scrippsco2.ucsd.edu/charles_david_keeling_biography>;“Keeling Curve Lessons,”Scripps Institution of Oceanography,

<http://scrippsco2.ucsd.edu/history_legacy/keeling_curve_lessons>;Andrea Thompson, “2015 Begins with CO^2 above 400 PPM Mark,” Scientific America, January 12, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.scientificamerica.com/article/2015-begins-with-co2-above-400-ppm-mark/>.

10. The Conservation Foundation, Implications of Rising Carbon Dioxide Content of the Atmosphere (New York: The Conservation Foundation, 1963), i; Howard E. Newell, “A Recommended National Program in Weather Modification,” National Aeronautics and Space Administration (1966): I-3, accessed October 1, 2016, <http://www.geoengineeringwatch.org/documents/19680002906_1968002906.pdf>.

11. Thomas H. Maugh II, “Willi Dansgaard Dies at 88; Scientist Who Recognized Climate Record in Ice Cap,” Los Angeles Times, February 7, 2011, accessed October 1, 2016, <http://articles.latimes.com/2011/feb/07/local/la-me-willi-dansgaard-20110207>; William Ferguson, “Ice Core Data Help Solve a Global Warming Mystery,” Scientific America, March 1, 2013, accessed October 1, 2016, <http://www.scientificamerican.com/articl/ice-core-data-help-solve/>; Weart, Discovery of Global Warming, 130 – 31.

12. Weart, Discovery of Global Warming, 71 – 72, 96 – 97; Spencer R. Weart, “Government: The View from Washington, DC,” American Institute of Physics, February 2016, accessed October 1, 2016, <https://www.aip.org/history/climate/Govt.htm>; “Bill Summary & Status: 95th Congress (1977 – 1978) H.R.6669,” Library of Congress, September 17, 1978, accessed October 1, 2016, <http://thomas.loc.gov/cgibin/bdquery/z?d095:HR06669:@@@D&summ2=m&>.

13. “Colder Winters Held Dawn of New Ice Age,” Washington Post, January 11, 1970; “Another Ice Age?” Time, June 24, 1974; Robert C. Cowen, “New Ice Age Almost Upon Us?” Christian Science Monitor, November 14, 1979.

14. Weart, Discovery of Global Warming, 114 – 15, 120 – 21.

15. “Brief Primer on the Montreal Protocol,” United Nations Environment Programme, accessed October 1, 2016, <http://ozone.unep.org/Publications/MP_Brief_Primer_on_MP-E.pdf>.

16. “History,” Intergovernmental Panel on Climate Change, accessed October 1, 2016,

<https://www.ipcc.ch/organization/organization_history.shtml>;J.T.Houghton,G.J.Jenkins,and J.J.Ephraums,eds.,Climate Change: The IPCC Scientific Assessmen(New York: Cambridge University Press,1990) xi–xii,accessed October 1,2016, <https://www.ipcc.ch/ipccreports/far/wg_I/ipcc_far_wg_I_full_report.pdf>.

17. “General Information.”United Nations Earth Summit +5,accessed October 1,2016,<http://www.un.org/esa/earthsummit/>;“IPCC Second Assessment:Climate Change 1995”Intergovernmental Panel on Climate Change (1995): 22,accessed October 1,2016, <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-1995/ipcc-2nd-assessment/2nd-assessment-en.pdf>.

18. Weart,Discovery of Global Warming,173–74;Richard N.Cooper,“The Kyoto Protocol: A Flawed Concept,”Harvard University Center for the Environment,7–8,11–12,accessed October 1,2016, <http://www.environment.harvard.edu/docs/faculty_pubs/cooper_kyoto.pdf>;“Byrd-Hagel Resolution,”National Center for Public Policy Research,accessed October 1,2016, <http://www.nationalcenter.org/KyotoSenate.html>;George W.Bush,“Letter to Members of the Senate on the Kyoto Protocol on Climate Change,”The American Presidency Project,March 13,2001,accessed October 1,2016, <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/?pid=45811>.

19. “Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gases under Section 202(a) of the Clean Air Act,”Environmental Protection Agency,2009,66497,accessed October 1,2016, <http://www.epa.gov/climatechange/endangerment/>;“Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change,”Intergovernmental Panel on Climate Change,2014,accessed October 1,2016, <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.

20. “Climate Change 2014” 1,SPM 1,SPM 1.1,4,SPM 1.2,accessed October 1,2016,<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>.

21. “Climate Change 2014” 21.

22. J .P.Stockholm,“The IPCC Climate-Change Report: It’s Still Our Fault,”Economist,September 27,2013,accessed October 1,2016, <http://www.economist.com/blogs/babbage/2013/09/ipcc-climate-change-report>.

23. “IPCC Statement on the Melting of Himalayan Glaciers,” Intergovernmental Panel on Climate Change, January 20, 2010, accessed October 1, 2016, <https://www.ipcc.ch/pdf/presentations/himalaya-statement-20january2010.pdf>; Matthew Knight, “U.N. Climate Chiefs Apologize for Glacier Error,” CNN, January 20, 2010, accessed October 1, 2016, <http://www.cnn.com/2010/WORLD/asiapcf/01/20/glacier.himalayas.ipcc.error/>.

24. “Climate Change Assessments, Review of the Processes and Procedures of the IPCC,” InterAcademy Council, October 2010, xii–xiv, 59, accessed October 1, 2016, <http://reviewipcc.interacademycouncil.net/report.html>.

25. Bjorn Lomborg, Cool It: The Skeptical Environmentalist’s Guide to Global Warming (New York: Vintage Books, 2007); Bjorn Lomborg, “Cost-Effective Ways to Address Climate Change,” Washington Post, November 17, 2010, accessed October 1, 2016, <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2010/11/16/AR2010111604973.html>.

26. Mark Holt and Gene Whitney, “Greenhouse Gas Legislation: Summary and Analysis of H.R.2454 as Passed by the House of Representatives,” Congressional Research Service, summary, accessed October 1, 2016, <http://research.policy archive.org/18878.pdf>.

27. “Comparison Chart of Waxman-Markey and Kerry-Lieberman,” Center for Climate and Energy Solutions, accessed October 1, 2016, <http://www.c2es.org/federal/congress/111/comparison-waxman-markey-kerry-lieberman>.

28. Bryan Walsh, “Why the Climate Bill Died,” Time, July 26, 2010, accessed October 1, 2016, <http://science.time.com/2010/07/26/why-the-climate-bill-died/>.

29. “EPA Denies Petition to Regulate Greenhouse Gas Emissions from Motor Vehicles,” Environmental Protection Agency, August 28, 2003, accessed October 1, 2016, <https://yosemite.epa.gov/opa/admpress.nsf/b1ab9f485b098972852562e7004dc686/694c8f3b7c16ff6085256d900065fdad!OpenDocument>; Massachusetts et al. v. Environmental Protection Agency et al., 05 U.S. 1120 (2007), accessed October 1, 2016, <https://www.law.cornell.edu/supct/html/05-1120.ZS.html>.

30. “Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gases,” 40 CFR,chap.1 at 66496 to 66498,66517.

31. “Clean Air Act Permitting for Greenhouse Gas Emissions—Final Rules Fact Sheet,” Environmental Protection Agency,April 17,2009,5,accessed October 1,2016, <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/2010122 factsheet.pdf>.

32. “Technical and Support Document for Endangerment and Cause or Contribute Findings for Greenhouse Gases,” Environmental Protection Agency,ES-2,ES-3,accessed October 1,2016, <https://www3.epa.gov/climatechange/Downloads/endangerment/TSD_Endangerment.pdf>.

33. “Fifteenth Session of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change and Fifth Session of the Meeting of the Parties to the Kyoto Protocol,” Pew Center on Global Climate Change,accessed October 1,2016, <http://www.c2es.org/docUploads/copenhagen-cop15-summary.pdf>; “How to Live with Climate Change,” Economist,November 25,2010, <http://www.economist.com/node/17575027>.

34. George F.Will, “The Paris Agreement Is Another False ‘Turning Point’ on the Climate,” Washington Post,December 16,2015,accessed October 1,2016,<https://www.washingtonpost.com/opinions/another-false-urning-point-on-the-climate/2015/12/16/e16dbc36-a35b-11e5-9c4e-be37f66848bb_story.html>;Thomas L.Friedman, “Paris Climate Accord Is a Big,Big Deal,” New York Times,December 16,2015,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2015/12/16/opinion/paris-climate-accord-is-a-big-big-deal.html>.

35. Will, “The Paris Agreement Is Another False ‘Turning Point’ on the Climate”;Friedman, “Paris Climate Accord Is a Big,Big Deal.”

36. Will, “The Paris Agreement Is Another False ‘Turning Point’ on the Climate.”

37. Friedman, “Paris Climate Accord Is a Big,Big Deal.”

38. “Paris Climate of Conformity,” Wall Street Journal,December 13,2015,accessed October 1,2016,<http://www.wsj.com/articles/paris-climate-of-conformity-1450048095>.

39. “Remarks by the President in Announcing the Clean Power Plan.”

40. Pope Francis, “Laudato sì,” Libreria Editrice Vaticana, May 24, 2015, paragraphs 32–34, 165, 169, 175, accessed October 1, 2016, <http://w2.vatican.va/content/francesco/en/encyclicals/documents/papa-francesco_20150524_enciclica-laudato-si.html>.

41. “Clean Power Plan for Existing Power Plants,” Environmental Protection Agency, October 23, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www2.epa.gov/cleanpowerplan/clean-power-plan-existing-power-plants>; “Fact Sheet: Overview of the Clean Power Plan,” Environmental Protection Agency, accessed October 1, 2016, <http://www.epa.gov/airquality/cpp/fs-cpp-overview.pdf>; Van Ness Feldman LLP, “EPA Issues Regulations to Control Carbon Dioxide Emissions from the Power Sector,” August 5, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.vnf.com/epa-regulations-to-control-carbon-dioxide-emissions-from>.

42. “Clean Power Plan for Existing Power Plants,” 64665; “Clean Power Plan State-Specific Fact Sheets,” Environmental Protection Agency, updated September 16, 2016, accessed October 1, 2016, <https://www.epa.gov/cleanpowerplantoolbox/clean-power-plan-state-specific-fact-sheets>

43. “Clean Power Plan for Existing Power Plants,” 64667.

44. “Clean Power Plan for Existing Power Plants,” 64685.

45. Craig R. Roach, PhD, and Vincent Musco, Southwest Power Pool Annual Looking Forward Report: Strategic Issues Facing the Electricity Business, Washington, DC: Boston Pacific, April 15, 2016, 29–34; Jonathan H. Adler, “Supreme Court Puts the Brakes on the EPA’s Clean Power Plan,” Washington Post, February 9, 2016, accessed October 1, 2016, <https://www.washingtonpost.com/news/volokh-conspiracy/wp/2016/02/09/supreme-court-puts-the-brakes-on-the-epas-clean-power-plan/>; State of West Virginia, State of Texas et al. v. United States Environmental Protection Agency and Regina A. McCarthy, application, February 9, 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.scotusblog.com/wp-content/uploads/2016/01/15A773-application.pdf> and <http://www.supremecourt.gov/orders/courtorders/020916zr3_hf5m.pdf>; Amy Harder and Brent Kendall, “Carbon-Rule Stay Puts Obama Environmental Legacy on the Line,” Wall Street Journal, February 10, 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.wsj.com/articles/carbon-rule-stay-puts-obama-environmental-

legacy-on-the-line-1455150933>;Editorial Board,“The Court Blocks Efforts to Slow Climate Change,”New York Times,February 11,2016,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2016/02/11/opinion/the-court-blocks-efforts-to-slow-climate-change.html>

46. Robert Barnes and Steven Mufson,“Supreme Court Freezes Obama Plan to Limit Carbon Emissions,”Washington Post,February 9,2016,accessed October 1,2016, <https://www.washingtonpost.com/politics/courts_law/supreme-court-freezes-obama-plan-to-limit-carbon-emissions/2016/02/09/ac9dfad8-cf85-11e5-abc9-ea152f0b9561_story.html>.

第18章　乔治·米歇尔的页岩气革命

在改变世界方面，没有几个商人做出的贡献能与乔治·米歇尔相媲美。

——《经济学人》（2013）注

乔治·米歇尔虽然不是一个家喻户晓的人物，但是所有人都应该记住他的名字。他所取得的成就可能会在未来几十年里影响美国乃至全世界所有家庭的能源供应和能源成本。经过长达20年的艰苦努力和不断尝试，米歇尔找到了一种革命性的方法，可以开采页岩层中的非常规天然气，从而使天然气价格达到有史以来的最低水平。米歇尔将他的创新与戴文能源公司的水平钻井技术以及先进的地震勘探技术相结合，引发了一场页岩气革命。

称为革命并无任何不妥，因为它为我们提供了数量巨大、形式多样的能源。2007年，专家们发出警告，北美的天然气产量将会下降，就像进口石油一样，美国最终不得不从海外进口天然气。而米歇尔引发这场革命之后，新的观点认为美国人的脚下有足够的天然气。还有人认为美国未来将出口天然气，而不是进口天然气。注

天然气和电之间有着直接而重要的联系。由于电力行业引入竞争机制所创造的机会，以及全球气候变化带来的挑战，天然气成为电力生产的首选燃料。因此，天然气往往可以决定电能的市场价格，天然气价格在2010—2015年已经跌至历史低点。许多人预测，页岩气革命将使天然气价格保持低位，电能价格亦然。注

巴奈特页岩

要了解乔治•米歇尔，就必须了解他从事的业务。1953年，米歇尔和他的合伙人在北得克萨斯钻探天然气。幸运的是，他们的气井是有史以来产量最高的气井之一。1954年，他们签订了一份通过美国天然气管道公司的输气管道向芝加哥供应天然气的合同。这笔生意对米歇尔的事业具有至关重要的意义，正是由于这份合同，米歇尔才开始寻找新的天然气资源，进而启动了页岩气革命。

米歇尔能源发展公司成立于1971年，并于次年在美国证券交易所首次公开发行股票。20世纪70年代末，由于芝加哥不间断的天然气需求，米歇尔催促他的同事们抓紧寻找新的天然气资源。他公司聘请的一位地质学家写了一篇论文，指出得克萨斯州丹顿市的巴奈特页岩中可能有天然气。(注)尽管公司内部的工程师反对使用非常规的钻井技术，但是米歇尔义无反顾地开始在页岩中进行水力压裂作业。

水力压裂法就是利用高压将液体注入岩层让其产生裂缝，释放出天然气。通常情况下，液体中99%的成分都是水和石英砂（石英砂是一种支撑剂，可以让裂缝在形成后保持张开状态）构成。此外，还包含少量的化学物质。这些化学物质是滑溜水的组成部分，目的是让支撑剂保持悬浮状态，并尽量减少摩擦，方便液体进入岩层。(注)

根据米歇尔的估算，他花了七八百万美元和20年的时间，才掌握了页岩气钻采技术。他的同事丹•斯图尔特（Dan Steward出版过一本介绍巴奈特页岩历史的书）称，米歇尔的第一口气井是1981年钻探的，“1982—1986年，他钻了41口更深的气井”。1989年，斯图尔特认为他钻采的气井和收集到的地震资料已经足够他了解巴奈特岩层的基本结构了。于是，他开始扩大钻采区域，从最初的15平方英里一直扩大到20世纪90年代末的115平方英里。尽管如此，他还需要不断尝试，才能找到一种在商业上可行的压裂液。1998年，米歇尔完成了滑

溜水的测试，把处理成本降低了80%，还可以增加天然气流量。丹顿市现在被视为巴奈特页岩区的中心。注

页岩气的前景

储量丰富

21世纪初的多个能源预测不约而同地发出警告，美国未来只有从海外进口天然气，才能维持目前的消费水平。能源专家、作家丹尼尔·耶金（Daniel Yergin）在2007年1月的《华尔街日报》上发表的一篇专栏文章也表达了同样的观点。他警告说："北美的天然气供应已经衰竭。然而，10年来我们又新建了大量天然气发电厂，因此天然气需求肯定会增加。"耶金认为，这种情况必将导致"在2020年之前，液化天然气的年均进口量增幅从目前的3%增加到25%以上"。注

耶金的专栏文章代表了大家的一致观点。因此，2000—2009年，投资者投入资金，大幅提升液化天然气的进口能力。要从其他国家进口天然气，必须先将天然气制成液体。在到达目的地港口后，液化天然气又必须被转换成气态，通过管道输送到美国内陆地区。2000年，每天大约有23亿立方英尺的液化天然气被进口到美国。到2009年，美国的天然气进口能力增加了近9倍，达到每天227亿立方英尺。注

至此，"短缺论"一夕之间变成了"充足论"。2009年11月，耶金在《华尔街日报》上发表了一篇题为"美国天然气革命"的专栏文章。他在文章中指出，新发现的页岩气储量丰富，"改变了关于电力生产的争论"。耶金认为，面对全球气候问题，天然气价格低廉，必将成为发电的首选燃料。是什么促成了从短缺论到充足论这种彻底的转变呢？主要原因在于开采页岩气的新技术，具体来说，就是米歇尔

和戴文能源公司将水力压裂法、水平钻井技术与三维地震勘探技术融合而成的新技术。从根源上看，页岩气革命就是一场技术革命。注

2000年，在美国大陆生产的所有天然气中，页岩气仅占1%。2009年，页岩气的占比为14%，到2014年，这一数字增加到48%。在估计美国地下还有多少天然气时，人们给出的结果也在不断变化，从中可以看出他们对页岩气的储量非常乐观。1984—2004年，美国在这20年里探明的天然气储量不超过200万亿立方英尺。2004—2014年，这个数字翻了一番，达到近400万亿立方英尺。页岩气使美国能源预测发生了巨大变化，“革命”一词当之无愧。注

成本低

在2008年广为人知的涨价狂潮中，天然气价格飙升至每百万英热单位注13.31美元。注2012年，天然气的现货价格降至每百万英热单位1.82美元，跌幅达86%。而据当时的估计，天然气价格不会维持在每百万英热单位两美元左右的水平上，因为某些导致价格骤降的因素不会长久地发挥作用。比如，某些页岩租约对承租人有非用即失的要求，也就是说，如果不开采页岩气，就会被收回租赁权。当时，许多天然气井也出产类似石油的液体产品，包括乙烷、丙烷和丁烷，这是推动天然气开采的另一个因素。由于石油价格比较高，因此这些液体产品的价值也很高，使得天然气开采有利可图。不过，后来尽管油价大跌，天然气价格仍然不高，2015年的平均价格仅为每百万英热单位2.62美元。注

我们在做预测时大多都会假设价格走势平稳，但是历史告诫我们不要依赖于这种存在重大风险的做法。风险的性质也会随着时间而改变。过去我们开采天然气的风险主要是寻找资源。而开采页岩气时，我们找不到天然气的风险比较小，但在成本支出方面的风险则大得多，这是因为并非所有的页岩气源都是一样的。麻省理工学院2010年

的一项研究用在不同地点（气田）钻探天然气可能需要的成本来表示这种风险，即使在同一个气田中，生产成本也会不同。为了阐明这样的观点，麻省理工学院的研究报告称，得克萨斯州巴奈特页岩气田的估计生产成本从每百万英热单位4.27美元到11.46美元不等，宾夕法尼亚州马塞勒斯页岩气田的估计生产成本从每百万英热单位2.88美元到6.31美元不等。注

性价比高

另外，麻省理工学院认为美国的大部分页岩气田的生产成本在每百万英热单位4~8美元的范围内。更重要的是，这样的价格水平使得天然气发电技术成了其他发电技术的头号公敌。尽管从成本估算看不出该行业有其内在的不确定性，但是麻省理工学院估计，燃气—蒸汽联合循环发电技术的成本约为每兆瓦时56美元，远低于麻省理工学院估计的88美元的核电成本，以及采取减排措施后每兆瓦时92美元的煤电成本。至于使用可再生能源生产电力的成本，如果是全天候发电，那么风能发电的成本是每兆瓦时100美元，太阳能发电的成本则是每兆瓦时193美元。换句话说，可再生能源发电单从成本角度看是没有竞争力的。注

2012年，美国智库布鲁金斯学会的汉密尔顿项目组的亚当·鲁尼（Adam Looney）和迈克尔·格林斯通（Michael Greenstone）在美国人文与科学院会刊《代达罗斯》（*Daedalus*）上发表了一篇研究论文，得出了类似的结论：在新型发电厂中，新一代天然气发电技术是成本最低的全天候发电技术。即使加上“社会成本”——包括二氧化碳排放造成的危害——燃气—蒸汽联合循环发电的成本（每兆瓦时65美元）也是成本最低的发电技术，而煤电的成本是每兆瓦时115美元，几乎是前者的两倍。核电成本为每兆瓦时82~105美元，无论是否计算社会成本都不会有变化，因为它没有碳排放。全天候风力发电的成本

为每兆瓦时97美元，全天候太阳能光伏（太阳能电池板）的成本为每兆瓦时132美元。注

2010—2012年，人们一致认为，在考虑环境保护绩效和可靠性的基础上，天然气发电技术是成本最低的可选技术。

令人信服的怀疑论者

美国政府下属的能源信息署对能源的生产、使用和价格进行了广泛的预测。为了履行告知风险的职责，能源信息署研究了多种不同的情境。从它2014年制订的“参考”方案可以看出，能源信息署认为美国的天然气储量“十分丰富”，但是估计生产成本将增加，因为“新生产地点的天然气开采难度更大、成本更高”。在这个价格预测的基础上，预计到2040年天然气总产量将增长56%，主要是页岩气。注

地质学家戴维·休斯（David Hughes）是一个令人信服的怀疑论者，在加拿大地质调查局工作了32年。他对美国能源信息署的预测（尤其是页岩气的储量和产量估计）非常不满。休斯对7个页岩气田进行了独立分析，他认为到2040年这7个气田的产量占未来页岩气产量的比例将高达88%。研究发现，“2014—2040年，这7个页岩气田的产量将比信息署预测的产量低39%”。他预计这7个页岩气田的产量将于2020年达到峰值，而2040年的产量将仅是信息署预测产量的1/3。注

与休斯的看法形成鲜明对比的是，一些专家却乐观地认为页岩气生产技术将不断发展，他们还给出了持乐观态度的具体理由。曼哈顿研究所的马克·米尔斯（Mark Mills）就是乐观派之一，米尔斯之所以如此乐观，是因为页岩气革命已经通过数千口气井创造了大量绩效数据。他认为，一方面关于这些信息的“大数据分析”将带来生产率的显著增长和生产成本的显著下降。另一方面，大数据分析将有利于人们发现进而广泛应用最有效的做法，也为生产商根据特定地点的情

况调整钻探和生产方法创造了条件。米尔斯建议，与其寻找石油和天然气的替代品，不如集中精力开发新技术，让石油和天然气保持供应充足和价格低廉的态势。注

我们可以把这场辩论看成是人类创新与地质局限性之间的较量。到目前为止，人类在这场革命的初级阶段占据了上风。由于技术的进步，新气井的生产效率越来越高。然而，我们必须记住，预计将会发生的变化，比如页岩气革命造成的财富状况大逆转，只能提示风险，而不能消除风险。所以，不确定性仍然存在。

对环境的影响

黄金法则

在这个时代，我们很难公正地分析页岩气对环境的影响。国际能源机构在2012年发表的报告《天然气黄金时代的黄金法则》，是为数不多的两面兼顾的例子之一。报告先陈述了基本观点："只有通过环保的方式"对非常规的天然气资源"进行开发"，世界才会迎来天然气的黄金时代。国际能源机构坦承这些非常规能源"对环境的影响可能大于传统的天然气"，但他们坚信，"肯定可以找到合适的技术和方法，使非常规天然气资源的开发有效地解决这些难题"。该机构列出了若干"黄金法则"，希望以此赢得公众对页岩气开发的支持，或者正如该机构所说，是为了帮助"这个行业获得'社会执照'"。注

这些黄金法则是解决页岩气开发造成的环境和社会问题时所有人都应该遵循的基本原则，也是可以形成通用或最佳实践方法的常识。比如，"严格甄选气井"这条法则可以帮助页岩气生产商避开某些地点，以免在储存废水时，因为某些地质因素而加大整个区域发生地震的风险。"隔离气井，防止泄漏"这条法则可以保证气井的设计和施

工不出问题，还可保证钻井深度不会影响饮用水源。国际能源机构估计，遵循这些原则的话，页岩气的开发成本只会增加7%。[注]

你能把水点燃吗?

关于页岩气开发造成的环境影响，其他评估的受关注程度远大于国际能源机构的这份报告。乔什·福克斯（Josh Fox）执导的纪录片《天然气之地》（*Gasland*）就是其中之一，该片于2011年获得奥斯卡最佳纪录片提名。福克斯称这部纪录片是“真相、神秘和蓝草班卓的大杂烩”，它“揭露了一系列的秘密、谎言和污染”。碟片封面上还引用了小野洋子的一句话：“乔什·福克斯的《天然气之地》可以把美国的水、空气和土壤从贪婪企业的魔爪下拯救出来。”[注]

这部纪录片的副标题“你能把水点燃吗？”来源于其中最戏剧化的一幕：一位科罗拉多的业主用打火机，点燃了从厨房洗菜盆的水龙头里流出来的水。它暗示，导致饮用水受到污染的罪魁祸首就是页岩气开采活动。[注]

环保局的调查报告

饮用水受到污染是一个严重的问题。2011年2月的一个星期天，《纽约时报》头版的一篇文章，再次拉响了页岩气钻探和生产可能污染水源、破坏环境的警报。这篇文章的主标题是“监管松懈，天然气井排放的废水污染河流”，文中的小标题也振聋发聩，比如，“不堪重负，准备不足”“放射性检测形同虚设”“神秘的工厂经营者”等。作者开宗明义，直陈页岩气井排放的废水可导致饮用水被污染。他写道：“用水力压裂法，一口气井能产生超过100万加仑[注]的废水，这些废水中通常有高腐蚀性的盐、致癌物质（比如苯）和放射性元素（比如镭）。”他特别关注的是，废水“有时会被运送到污水处理厂，但后者却将这些污水直接排放到供应饮用水的河流中”。[注]

因为诸如此类的报道，国会要求环保局研究饮用水污染问题。美国环保局设定的研究范围大而全，把页岩气生产周期中涉及用水的5个阶段都包括在内。2015年6月，环保局发布了一份报告草案，并且强调这是只供公众评议的草案，而不是正式的“政策”。报告先是承认某些方法或“具体做法”确实可能造成某种危害，“我们认为，水力压裂法在地面和地下的某些具体做法有可能影响饮用水资源。”环保局列举了几个例子，其中包括“水力压裂液和化学品泄漏”“废水在排放前的处理不到位”等。注

在介绍调查结论时，环保局称：“由于没有找到证据，我们尚无法证明这些做法已经对美国的饮用水资源产生了广泛而系统的影响。”环保局并不是说没有问题，也不是说页岩气生产未对环境造成任何危害。环保局的意思是，它调查了数千口油井的数据，结果发现没有证据证明页岩气生产对饮用水资源造成了危害。环保局还说：“与水力压裂井的数量相比，已经发现的危害水资源的气井数量极少。”不过，正反两个阵营中的很多人都对这个结论感到惊讶。注

这个调查结论比较勉强，而且是暂时性的。环保局坦承这项研究可能存在某些局限性，比如，“数据不充分”、“缺少长期的系统研究”等。对于有些人而言，环保局的这些发现对他们的观点没有任何意义。比如，在环保局完成这项研究之后，一些企业要求纽约州州长安德鲁·库莫（Andrew Cuomo）解除该州对水力压裂法的禁令。但库莫考虑到人们担心的不仅仅是饮用水污染的问题，因此不同意解除禁令。注

2016年12月，美国环保局发布了最终的调查报告。这一次，环保局的语气发生了变化，在报告中明确给出了测定水力压裂技术中的某些因素“造成环境影响的频率和严重程度”的方法。报告强调，由于“数据存在缺口和不确定性”，因此环保局“无法对水力压裂技术的环境影响形成结论”。这种新论调在某种程度上削弱了之前的报告草

案中给出的无责裁决，让水力压裂技术的前景蒙上了一层不确定性。注

“页岩气对气候变化有利吗？”

今天，环保主义者在看待所有能源发展问题时都会戴上全球气候变化的有色眼镜。对他们来说，“页岩气对气候变化有利吗？”这篇于2012年发表的文章，对页岩气的评价就非常全面。该文章的作者是哈佛大学环境中心主任丹尼尔·施拉格（Daniel Schrag），他还是总统科技顾问委员会的一名成员。注

施拉格坦承页岩气革命给经济和环境带来了巨大的好处。关于经济上的好处，他说：“从美国的工业竞争力和总体经济增长这个角度看，廉价、丰富的天然气带来了巨大的好处。”至于环境方面的好处，他认为天然气正在取代煤炭。施拉格称，2007—2011年的天然气使用量增加了15%，煤炭使用量减少了10%，用天然气替代煤炭会减少二氧化碳、硫和汞的排放。不过，尽管施拉格指出天然气在电力生产中取代煤炭有利于环境保护，但他也没有对天然气井会对周围环境造成污染的可能性（包括地下水污染和甲烷排放的可能性）视而不见。注

有趣的是，施拉格认为，他在文章标题中提出的问题无法通过对发电厂进行短期排放评估找到答案，因为他认为这是一个政治问题。施拉格称：“环保组织可以利用天然气行业的经济利益来获取对反煤炭政策的政治支持，还可以利用草根运动迫使现有的燃煤发电厂被关闭。”他认为，（反煤炭）战略能否取得成功关乎页岩气是否真的有利于气候变化。要回答页岩气到底是有利于还是有害于气候变化，还需要考虑另外一个问题：如果价格低廉、数量充足的页岩气会阻碍风能、太阳能等低碳或无碳技术的发展，我们该怎么办？注

地震问题

出于对环境问题的担忧，有人提议进一步加强监管。比如，奥巴马总统呼吁对页岩气钻采带来的甲烷排放加强控制，目标是到2025年将排放量减少40%~45%。(注)

地震也是需要我们关注的问题。地震活动和污水回注（可能是水力压裂过程中不可缺少的环节）之间似乎存在明显的联系。页岩气生产商和其他公司的污水回注可能会引发地震，进而造成破坏。俄克拉何马州地震频发就是一个有说服力的证据。根据美国地质勘探局的数据，1978—1999年震级为3.0级或更高的地震平均每年发生1.6次。这种较低的地震发生频率一直保持到2008年。然而，2013年这种震级的地震发生109次，2015年发生890次。(注)

政府的作用

由于能源创新会产生深远的影响，并为未来创造先例，因此，对于页岩气生产这种革命性技术，我们必须问几个关键问题，比如，政府的研究和开发是否在启动页岩气革命的过程中发挥了有利作用？奥巴马在2012年的国情咨文中首次赞扬了页岩气革命表现出来的创新性，并暗示联邦政府与页岩气革命存在千丝万缕的联系，从而把这个问题提升至非常高的层次。奥巴马说：“顺便说一下，在过去30年的时间里，公共研究经费帮助开发出页岩气技术。这告诉我们，政府的支持对于新能源开发具有非常重要的意义。”(注)

为了清晰地了解这次革命的动机和方法，我们有必要对20世纪70年代做一个简要回顾。20世纪70年代的能源市场至少受到4个主要问题的冲击：油价飙升（主要原因是第一次石油危机）、煤矿安全、新的空气污染法规和天然气短缺。对新技术的研发成为政府工作的重点，

于是，美国政府于1974年设立了能源研究和开发管理局。该机构的任务之一是探明“神秘的非常规天然气储备”。由于第一次石油危机的影响一直挥之不去，而当时使用的勘探和钻采方法只能把32%的石油开采出来，这个事实令所有研究人员备感失望。早在1973年，国会就给能源研究和开发管理局的前身拨款130万美元，用以研究新的钻采方法，包括水力压裂法。注

2012年，美国国家能源技术实验室的雪莉·梅尔尚（Sherie Mershon）和蒂姆·帕鲁卡（Tim Palucka）起草的一份关于政府能源研究历史的报告《一个世纪的创新》（*A Century of Innovation*），就引用了能源研究和开发管理局及其前身对压裂法的研究内容。尽管两位作者认为该管理局的很多工作以“令人沮丧的失败”收尾，但是研究工作并没有终止。报告称，能源研究和开发管理局最终签署了“9份新的成本共担合同，与政府和业界代表合作调查大规模的水力压裂和爆炸压裂技术”。注

这些调查还没有得出结论，美国的天然气产量就开始下降了，并于1976—1977年出现了天然气短缺现象。针对这种情况，能源研究和开发管理局把调查研究的重点放在“勘探人员很少驻足但可能会产生大量天然气的4种地质环境”上。人们经常以美国东部的页岩气项目为例，说明政府对页岩气开发感兴趣。不过，任何技术要完全实现商业化，就必须让私营企业相信这项技术确实可行，而且能实现盈利。这也是梅尔尚和帕鲁卡在这篇关于政府能源研究历史的报告中提出的一个观点，此外，报告还充分肯定了米歇尔在这场革命中发挥的作用。注

页岩气革命留给世人的遗产

页岩气革命改变了天然气和电力行业的格局，使这两种商品（和石油）的价格都大幅下降。它还改变了美国对其能源前景的看法，从短缺论变为富足论。这场革命也有助于重振美国经济：在页岩气和石油生产过程中创造就业机会，这是直接帮助；消费者可以把他们在购买能源上节省下来的钱，用来购买其他商品和服务，这是间接帮助。从长远看，只有真正能降低能源成本的新技术，才能提供净新增岗位。

页岩气革命对于应对全球气候变化问题也有重要的作用，用乔治·米歇尔的话说，“天然气是通向低碳经济的完美桥梁”。在电力生产上用天然气取代煤炭，至少可以减少一半的二氧化碳排放。灵活多变的燃气—蒸汽联合循环发电厂还可以结合间歇性的风能和太阳能等可再生能源发电，进一步优化能源生产。注

然而，如果这场革命不继续下去，这些好处就将无以为继。这场革命面对的不仅有来自地面下的风险，还有来自地面上的风险。技术改进裹足不前就是来自地面下的一个风险，它导致资源开发越来越难，因此需要不断改进技术。与此同时，新的或更严格的环保法规可能导致生产成本变得更高，这就是来自地面上的风险。

环境问题毋庸置疑会引起人们的关注，因此页岩气生产必须在经济效益和环境效益方面实现绝对的平衡。但是，美国没有心情采取这种平衡的观点。戴维·布鲁克斯（David Brooks）的一篇《纽约时报》专栏文章称：“特殊利益集团导致美国争议不断，阻力重重。现在，我们正承受着巨大的压力，迫切希望收到神奇的礼物。”在能源问题上，乔治·米歇尔的创新就是我们盼望已久的那个礼物。布鲁克斯担心美国“因此形成彼此对立的两派，保守派叫嚷着‘钻吧，宝贝，钻吧’，对大多数监管都持怀疑态度；而环保派认为使用化石燃料就是道德腐败，并想当然地认为我们在一夜之间就可以彻底改用风能和太阳能”。所以，这是一个双方互不妥协、各执己见的时代。注

页岩气革命揭示了创新的一个真实的基本特点，乔治·米歇尔的技术和毅力是页岩气革命的核心驱动力。2013年7月26日，米歇尔去世，享年94岁，《经济学人》称他为“页岩气之父”，认为“在改变世界方面，没有几个商人做出的贡献能与乔治·米歇尔相媲美”。成功发生在技术和机会碰撞之时，这句话虽然是老生常谈，但是很有道理。从历史的广角镜头看，很重要的一点是，20世纪70—90年代，天然气和电力行业解除监管的行动，为米歇尔创造了机会。如果不解除对天然气业务的监管，米歇尔就没有获取利润的机会，也就不会产生创新的动力。如果没有电力行业的竞争性改革，就不会有燃气—蒸汽联合循环发电厂的完全商业化，这些发电厂成为页岩气的重要用户，也为解决全球气候变化问题发挥了重要作用。人很重要，政策也很重要。㊟

米歇尔并不是唯一一个改变能源格局的人。有人认为，奥布里·麦克伦登（Aubrey McClendon）“虽然不是水力压裂法的发明者，却是它的主要倡导者”。麦克伦登曾是切萨皮克能源公司的联合创始人兼首席执行官，该公司是页岩气的主要生产商。相较米歇尔，人们对麦克伦登的评价可谓毁誉参半，因为他在2013年被罢免了切萨皮克公司首席执行官的职务，并于2016年被指控“阴谋操纵石油和天然气价格”。在他被起诉的第二天，他驾车撞上了一座桥的桥墩，并因此丧命。与英萨尔一样，公众在考虑他对页岩气革命做出重大贡献的同时，也会想到他的那些恶行。㊟

2016年2月24日，路透社报道美国完成了第一单液化天然气的出口交易。这要归功于米歇尔和戴文能源公司的技术。㊟

---

1. “The Father of Fracking,” The Economist, August 3, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.economist.com/news/business/21582482-few-businesspeople-have-done-much-change-world-george-mitchell-father>.

2. Daniel Yergin, " 'Energy Independence,' " Wall Street Journal, January 23, 2007, accessed October 1, 2016, <http://www.wsj.com/articles/SB11695195473928 4514>; "How Much Natural Gas Does the United States Have, and How Long Will It Last?," Energy Information Administration, November 18, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=58&t=8>; Alan Neuhauser, "The New U.S. Energy Era Will Be a Gas," U.S. News, May, 16, 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.usnews.com/news/articles/2016-05-15/us-gas-exports-poised-to-surpass-imports-for-first-time-since-1957>.

3. "Natural Gas: Henry Hub Natural Gas Spot Price," Energy Information Administration, accessed October 1, 2016, <https://www.eia.gov/dnav/ng/hist/rngwhhdm.htm>; Chris Mooney, "How Super Low Natural Gas Prices Are Reshaping How We Get Our Power," Washington Post, October 28, 2015, accessed October 1, 2016, <https://www.washingtonpost.com/news/energy-environment/wp/2015/10/28/how-super-low-natural-gas-prices-are-reshaping-how-we-get-our-power/?utm_term=.9b397144a37a>.

4. Tom Fowler, "Exec Mitchell Laid Groundwork for Shale Gas Surge," Houston Chronicle, November 15, 2009, accessed October 1, 2016, <http://www.chron.com/business/energy/article/Exec-Mitchell-laid-groundwork-for-shale-gas-surge-1742206.php>.

5. Fatih Birol, "Golden Rules for a Golden Age of Gas: World Energy Outlook Special Report on Unconventional Gas," International Energy Agency, May 29, 2012, 25–26, 33–34, accessed October 1, 2016, <http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebsite/2012/goldenrules/WEO2012_GoldenRulesReport.pdf>; Ernest J. Moniz, Henry D. Jacoby, and Anthony J.M. Meggs, "The Future of Natural Gas: An Interdisciplinary MIT Study," MIT Energy Initiative, June 9, 2011, 42, accessed October 1, 2016, <http://www.mit.edu/~jparsons/publications/NaturalGas_Report_Final.pdf>.

6. Fowler, "Exec Mitchell Laid Groundwork for Shale Gas Surge"; Dan B. Steward, "George P. Mitchell and the Barnett Shale," Journal of Petroleum Technology, November 2013, accessed October 1, 2016, <http://www.mydigital publication.com/article/George_P._Mitchell_And_The_Barnett_Shale/1535436/179598/article.html>.

7. Yergin, " 'Energy Independence.' "

8. Moniz, Jacoby, and Meggs, “The Future of Natural Gas,” 5.

9. Daniel Yergin and Robert Ineson, “America’s Natural Gas Revolution,” Wall Street Journal, November 2, 2009, accessed October 1, 2016, <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052748703399204574507440795971268>.

10. Moniz, Jacoby, and Meggs, “Future of Natural Gas,” 29; “How Much Shale Gas Is Produced in the United States?,” Energy Information Administration, June 14, 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=907&t=8>; “U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves, Year-End 2015,” Energy Information Administration, released November 23, 2015, figure 5, accessed October 1, 2016, <https://www.eia.gov/naturalgas/crud oilreserves/>; “U.S. Crude Oil and Natural Gas Proved Reserves,” Table 9: U.S. Proved Reserves of Total Natural Gas, Wet after Lease Separation, 2001–14, Energy Information Administration, November 23, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.eia.gov/naturalgas/crudeoilreserves/pdf/table_9.pdf>.

11. 英热单位是英、美等国采用的一种计算热量的单位，在国际上天然气是按热值销售的，常用单位是百万英热单位。——编者注

12. “Natural Gas: Henry Hub Natural Gas Spot Price.”

13. An MMBtu is a standard measure of energy content with a Btu defined as the amount of heat required to increase the temperature of a pound of water by one degree Fahrenheit; “Natural Gas: Henry Hub Natural Gas Spot Price”; Clifford Krauss and Eric Lipton, “After the Boom in Natural Gas,” New York Times, October 20, 2012, accessed October 1, 2016, <http://www.nytimes.com/2012/10/21/business/energy-environment/in-a-natural-gas-glut-big-winners-and-losers.html>.

14. Moniz, Jacoby, and Meggs, “The Future of Natural Gas,” 33.

15. Moniz, Jacoby, and Meggs, “The Future of Natural Gas,” 31, 54.

16. Michael Greenstone and Adam Looney, “Paying Too Much for Energy? The True Costs of Our Energy Choices,” Daedalus 141, no. 2 (Spring 2012) 19, 24, accessed October 1, 2016, <http://ceepr.mit.edu/files/papers/Reprint_243_WC.pdf>

17. “Annual Energy Outlook 2014 with Projection to 2040,” Energy Information Administration, April 2014, MT-21, MT-23, accessed October 1, 2016, <http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2014).pdf>.

18. J .David Hughes, "Drilling Deeper: A Reality Check on U.S.Government Forecasts for a Lasting Tight Oil & Shale Gas Boom," Post Carbon Institute,October 2014,6,11,accessed October 1,2016, <http://www.postcarbon.org/wp-content/uploads/2014/10/Drilling-Deeper_FULL.pdf>.

19. Mark P.Mills, "SHALE 2.0: Technology and the Coming Big-Data Revolution in America's Shale Oil Fields," Manhattan Institute,May 2015,Executive Summary,6 - 9,12 - 13,accessed October 1,2016, <http://www.manhattan-institute.org/pdf/eper_16.pdf>.

20. Birol, "Golden Rules," 9 - 10.

21. Birol, "Golden Rules," 13 - 14,17.

22. Gasland,dir.Josh Fox (HBO Documentary Films,2011),DVD; "Gasland: About the Film," Gasland,accessed October 1,2016, <http://one.gaslandthemovie.com/about-the-film>.

23. Chris Tucker, "EID Statement onGasLand Academy Award Nod: 'This nomination is fitting,as the Oscars are aimed at praising pure entertaiment," Energy in Depth,January 25,2011,accessed October 1,2016, <https://energyindepth.org/national/eid-statement-on-gasland-academy-award-nod-this-nomination-is-fitting-as-the-oscars-are-aimed-at-praising-pure-entertainment/>.

24. 1加仑≈3.79升。——编者注

25. Ian Urbina, "Regulation Lax as Gas Wells' Tainted Water Hits Rivers," New York Times,February 26,2011,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2011/02/27/us/27gas.html?_r=1&sq=fracking&st=cse&scp=2&pagewanted=print>.

26. "Assessment of the Potential Impacts of Hydraulic Fracturing for Oil and Gas on Drinking Water Resources," Environmental Protection Agency,June 2015,ES-1,ES-6,ES-10,ES-23,accessed October 1,2016, <http://www2.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/hf_es_erd_jun2015.pdf>.

27. "Potential Impacts of Hydraulic Fracturing," ES-6,ES-23.

28. "Potential Impacts of Hydraulic Fracturing," ES-6.

29. "Hydraulic Fracturing for Oil and Gas: Impacts from the Hydraulic Fracturing Water Cycle on Drinking Water Resources in the United States (Final Report)," Environmental Protection Agency,2016: 40 - 41.

30. Daniel P.Schrag, “Is Shale Gas Good for Climate Change?,” Daedalus 141,no.2 (Spring 2012): 72.

31. Schrag, “Is Shale Gas Good for Climate Change?,” 72–73,77–78.

32. Schrag, “Is Shale Gas Good for Climate Change?,” 79.

33. “EPA Proposes New Commonsense Measures to Cut Methane Emissions from the Oil and Gas Sector/Proposal Cuts GHG Emissions,Reduces Smog-Forming Air Pollution and Provides Certainty for Industry,” EPA Newsroom,August,18,2015,accessed October 1,2016, <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-proposes-new-commonsense-measures-cut-methane-emissions-oil-and-gas-sectorproposal>.

34. “Earthquakes in Oklahoma,” Offic e o f the Secretar y of Energ y and Environment Oklahoma,accessed October 1,2016, <https://earthquakes.ok.gov/>;Roach and Musco,Southwest Power Pool Annual Looking Forward Report,20–22;“Oklahoma Earthquakes Magnitude 3.0 and Greater,” United States Geological Survey,February 17,2016,accessed October 1,2016, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/states/oklahoma/images/OklahomaEQsBarGraph.png>.

35. “Full Transcript: Obama’s 2012 State of the Union Address,” USA Today,January 25,2012,accessed October 1,2016, <http://www.usatoday.com/news/washington/story/2012-01-24/state-of-the-union-transcript/52780694/1>.

36. Sherie Mershon and Tim Palucka,A Century of Innovation: From the U.S Bureau Mines to the National Energy Technology Laboratory (National Energy Technology Laboratory,2010),247–48,253,256–57.

37. Mershon and Palucka,A Century of Innovation,260–61.

38. Mershon and Palucka,A Century of Innovation,260–61,295–96.

39. George P.Mitchell and Mark D.Zoback, “George Mitchell: The Duty to Fracture Responsibly,” Fuelfi,February 20,2012,accessed October 1,2016, <http://fuelfix.com/blog/2012/02/20/opinion-the-duty-to-fracture-responsibly/>.

40. David Brooks, “Shale Gas Revolution,” New York Times,November 3,2011,accessed October 1,2016, <http://www.nytimes.com/2011/11/04/opinion/brooks-the-shale-gas-revolution.html>.

41. “George P.Mitchell Receives Lifetime Achievement Award from Gas Technology Institute,”PR Newswire,accessed October 1,2016, <http://www.prnewswire.com/news-releases/george-p-mitchell-receives-lifetime-achievement-award-from-gas-technology-institute-96564819.html>;Douglas Martin, “George Mitchell,a Pioneer in Hydraulic Fracturing,Dies at 94,”New York Times,July 26,2013,accessed October 1,2016,<http://www.nytimes.com/2013/07/27/business/george-mitchell-a-pioneer-in-hydraulic-fracturing-dies-at-94.html>.

42. Russell Gold,“How Aubrey McClendon Led Today’s Energy Revolution,”Wall Street Journal,March 4,2016,accessed October 1,2016, <http://www.wsj.com/articles/how-aubrey-mcclendon-led-todays-energy-revolution-1457117234>.

43. J acob Gronholt-Pedersen,“U.S.Exports First Shale Gas as LNG Tanker Sails from Sabine Pass Terminal,”Reuters,February 24,2016,accessed October 1,2016,<http://www.reuters.com/article/us-shale-export-idUSKCN0VY08B>;Georgi Kantchev, “With U.S.Gas,Europe Seeks Escape from Russia’s Energy Grip,”Wall Street Journal,February 25,2016,accessed October 1,2016,<http://www.wsj.com/articles/europes-escape-from-russian-energy-grip-u-s-gas-1456456892>.

第19章　埃隆·马斯克的梦想和历史的教训

人类从不在历史的教训中吸取教训就是人类最重要的历史教训。

——阿道司·赫胥黎（1959）注

了解历史的教训是人类预测未来的第一个重要步骤。然而，阿道司·赫胥黎警告说："人类从不在历史的教训中吸取教训就是人类最重要的历史教训。"所以，我们应该思考一个问题：历史给了我们什么教训，有没有人注意到这些教训？今天，验证赫胥黎的话的一个有效方法，就是看看历史的教训是否有意或无意间体现在富有魅力、有时又充满争议的商业领袖埃隆·马斯克（Elon Musk）的梦想之中。在马斯克创立的三家公司中，有两家是电力企业，都专注于革新。远大的目标、几次与失败擦肩而过的经历，以及取得的成功（这一点更重要），让马斯克跻身名人之列。注

雄心勃勃的梦想

在创业阶段，马斯克的两个初创企业都取得了成功。他的第一个企业是Zip2公司，Zip2是一个与地图捆绑的企业名录，马斯克称它是"一个真正先进的博客系统"。Zip2后来被康柏公司以3.07亿美元收购，马斯克和他的哥哥大约赚了3700万美元。他的第二次成功创业是基于互联网支付这项颠覆性技术，并因此成为贝宝（PayPal）公司的创始人之一。尽管马斯克因遭到排挤而离开贝宝，但当贝宝被易贝

（eBay）收购时，他仍然拿到了大约2.5亿美元。最让人印象深刻的是，马斯克敢于冒险，把他的大部分资金都投入了三家革命性的企业：太空探索技术公司（SpaceX）、特斯拉汽车公司和太阳城公司。注

SpaceX公司接受公共客户和私人客户的订单，服务内容包括建造并发射运载火箭，将卫星送入轨道，以及为国际空间站提供补给。在选择核心商业战略时，马斯克决定在美国白手起家制造火箭，他的理想就是成为成本最低的供应商。经过3次失败和6年的不懈努力，SpaceX在2008年9月首次成功发射火箭，并成为航天领域第一家将液体燃料火箭送入绕地球运行轨道的私营公司。埃隆·马斯克说："我们想成为航天发射领域里的美国西南航空公司。它们的航班飞行成本远低于其他同行，安全记录非常好，准点率也非常高。"最终帮助SpaceX公司降低成本的是它们研发的可重复使用的火箭。不过，低成本火箭只是SpaceX的一个短期目标，它的最终目的是移民火星。是的，这就是SpaceX的终极目标：如果地球上的一切都不再适合人类生存，就创造出一颗备用的行星。从这一点足可以看出，马斯克为什么以目标远大著称。注

特斯拉汽车公司的核心业务是生产电动汽车。马斯克建立该公司的动机比较务实，但也是雄心勃勃：可持续地缓解全球气候变化。与SpaceX公司开发火箭一样，特斯拉汽车公司从一开始就开发电动汽车，并投产制造。此外，SpaceX的一些创新实践也让特斯拉公司受益匪浅。锂电池成为特斯拉汽车的动力来源，马斯克计划让他位于内华达的超级电池工厂于2020年开足马力，生产锂电池。有特斯拉和另外一些公司专门制造电池，马斯克希望可以实现规模经济，从而大幅降低电池成本。注

太阳城公司是马斯克的表兄弟彼得·赖夫（Peter Rive）和林登·赖夫（Lyndon Rive）创建的企业，马斯克是该公司的主要投资人和

领导者。该公司最初的主营业务是为家庭和商业建筑安装屋顶太阳能光伏发电装置，即太阳能电池板，并为相关创新活动提供资金。刚开始，太阳城公司利用全球供应过剩以致价格低迷的良机，购买所需的太阳能设备。不过，像它的姊妹企业一样，太阳城公司后来也着手在美国制造自己的太阳能设备。2015年4月30日，马斯克发布了一组与太阳城公司（以及特斯拉汽车公司）关系密切的设备：基于锂电池的家用电能存储设备——Powerwall电池，以及适用于商业用户的储能方案——Powerpack电池组。[注]

马斯克对电力行业的重要性表现在两个方面，具体的表现形式就是他的两家公司。一是他掀起了需求侧革命。电池驱动的特斯拉汽车可以用现有的电力系统——电网，或者太阳能及其他未接入电网的设备完成充电，通过这些电动汽车，马斯克可以培养出新的电能用户。二是他掀起了供给侧革命。马斯克决心创造一种新的供电系统，来替代传统电网。马斯克明确表示，最终家庭或商业建筑的业主可以将屋顶的太阳能电池板和电能存储设备结合在一起，从而减少对电网的依赖。当太阳升起时，这些组合设备就可以满足用户的电力需求，同时把在白天生产的多余电能储存到存储设备中；当太阳落山后，储存的电能就会被用来满足用户晚上的电力需求。屋顶的太阳能装置与Powerwall电池的存储能力结合在一起，创造出一个全新的电力系统。我们可以称为“个人能源”，但未来有一天它或许可以与电网形成竞争之势。

当然，马斯克也不乏批评者，他的三家企业也不一定会成功。2015年，阿什利·万斯（Ashlee Vance）在他写作的马斯克传记《硅谷钢铁侠》中引用了一些批评者的言论。有人轻蔑地说特斯拉汽车“不过是一个毫无创意、过度炒作的玩具”。（随后，特斯拉公司宣布特斯拉Model 3汽车的售价为3.5万美元起，Model S的售价则不低于7.5万美元。）许多人认为，特斯拉公司和太阳城公司的生产和销售都是有补贴的，并暗示这些补贴才是马斯克取得成功的根本原因。然

而，还有一些人从更宽广的视角来看待马斯克，把他与当下的发明家相提并论。贝宝的创始人之一彼得·蒂尔（Peter Thiel）认为这是一次真正的创新，他同时为创新的日渐式微感到惋惜。他说：“我们需要能飞的汽车，却只得到了140个字符[注]。”马斯克把注意力都放在火箭、电动汽车和太阳能设备上，并且押上了他的全部身家。从这个角度看，马斯克的理想确实很伟大。[注]

马斯克是一位靠真刀实枪搏杀成名的英雄。无论从他为自己设定的目标看，还是从他实现目标的方式看，马斯克都是一位英雄，甚至称得上是一位老式的美国英雄。他正在尝试通过可重复使用的火箭来彻底改变太空运输，通过造型优美、动力强大的电动汽车彻底改变道路运输，通过有能量存储功能的屋顶太阳能电池板来彻底改变家庭的供暖和制冷。此外，他致力于开发的设备都是从零起步、从无到有的。像所有典型的企业家一样，他白手起家赚取了人生的第一桶金，然后把他的所有财富全部投到了他的三家公司里。

他的这些英雄创举，令人由衷地佩服。然而，成功对于他来说也不是唾手可得的。媒体日复一日地明确告诫他正面临着巨大的风险。我们可以看看下面4个例子。第一，他面临着标准的金融风险。2016年，他提议合并特斯拉公司和太阳城公司。有人认为这是危险之举，因为他打算合并的这两家公司都需要巨额的现金投资。还有人担心，如果太阳城公司破产，就会把特斯拉公司也拖下水。[注]

第二，如果电动汽车的终极目标是无人驾驶汽车，那么媒体对2016年一辆带驾驶辅助系统的特斯拉汽车在佛罗里达州致人死亡事件的广泛报道，就充分说明了其中的风险。据优步、来福车等公司反映，全世界的消费者是否愿意放弃汽车的所有权和驾驶权，是一个风险更大的问题。[注]

第三，马斯克通过他的超级电池工厂，把重注押在锂电池上。2016年，三星公司因锂电池爆炸而召回部分智能手机。2013年，被称为“梦想客机”的波音787飞机因锂电池起火被勒令停飞而登上了媒体头条。从此以后，电池着火的风险受到了人们的极大关注。（特斯拉汽车有一个冷却系统，专门用于应对这种风险。）第四，2016年9月，SpaceX公司的一枚火箭在发射台上发生爆炸。注

尽管面临这些风险，马斯克还是在2016年7月发布了特斯拉的总体计划：“开发无缝集成电池储存的太阳能屋顶，扩大电动汽车生产线到各个主要交通领域，开发安全性为人类驾驶员的10倍以上的无人驾驶系统，让你的车在你不用车时为你赚钱。”与此同时，马斯克也没有忘记移民火星这个雄心勃勃的目标。他相信，人类将在10年内登上火星。注

由于科技的飞速发展和媒体的高度关注，有时我们很难判断马斯克正在打造的是不是一份造福子孙后代的事业。马斯克可能正在引领电力行业的一场革命，一旦成功，就将以一种全新的方式实现电力的大众化。然而，要看清这一点，我们还必须结合历史的教训，去了解马斯克做出了哪些努力。

历史的教训

马斯克的梦想能否反映出历史留给真正的发明家的教训呢？总的来说，答案是肯定的。事实上，他的梦想在技术方面可能与爱迪生、威斯汀豪斯和特斯拉一脉相承，在政治或融资战略方面，则与英萨尔遥相呼应。此外，马斯克以他特有的方式表达了对科学和科学家的尊重。他认为，在富兰克林、法拉第、麦克斯韦和爱因斯坦等人完成的科学突破中，这份尊重起到了至关重要的作用。尽管马斯克的梦想只

能解决一小部分的问题，但是我们惊喜地发现，他从电的发现和应用过程中发生的那些重要事件里吸取了一些教训。

从末端入手

在爱迪生时代，支持直流电系统的爱迪生与支持交流电系统的威斯汀豪斯都是从末端入手，开始各自的设计。也就是说，先关注电的实际应用，或者说“最终用途”。爱迪生最先关注的是灯泡，他不辞辛苦地寻找最适合的灯丝材料。然后，再着手发明电力系统的所有元素，包括发电设备（发电厂）和把电能输送给灯泡的输电线路。威斯汀豪斯最先关注的是尼古拉·特斯拉设计和制造的交流电动机，然后再研究交流输电系统。有了这套输电系统，他才能把发电厂生产的电能输送到用户那里，而且不受距离的限制，也不受用户的分散程度的限制。

由于成本加成定价机制使利润成为大型发电厂的工作目标（利润是赚钱的保证，也是人们关注的重点），因此有很多年电力行业一直没有把注意力放到最终用途上。至于服务于特殊的最终用途的创新工作，即使有人关注，关注程度也极低。在危机年代，人们的注意力终于开始集中在最终用途上，但原因却非常简单：人们认为电力生产对环境造成了危害，因此确定了节约用电这个目标。人们的注意力甚至重新回到了灯泡上，新的联邦法律颁布后，爱迪生发明的白炽灯泡被禁用，因为人们认为白炽灯的效率比不上紧凑型荧光灯。[注]

不过，在马斯克之前，电力公司的创新者们几乎都没有主动地把注意力集中到电的最终用途上。现在，马斯克开发了新技术，希望借助特斯拉电动汽车和投资者的力量创造新的最终用途（甚至是新的消费者）。他还把注意力放到了太阳城公司开发的太阳能屋顶上，加上Powerwall电池组的存储能力，旨在创造出“个人”发电技术。从这个意义上说，马斯克发现了创新的最大动力。

相互借鉴与合作

爱迪生和威斯汀豪斯的实验室人员要么是知识渊博的通才，要么是掌握特殊技能的专才。爱迪生在门洛帕克实验室里打造了一种新的发明文化，当然，他还为广大的商业领域贡献了非常重要的技术，除了电力技术以外，还包括电报、电话和电影等。威斯汀豪斯的加里森实验中心也有其独特的发明文化，他还培养了一批人才，其中包括尼古拉·特斯拉。威斯汀豪斯也在多个行业，尤其是铁路安全领域，做出了特别重要的贡献，并发现远距离电力传输是交流系统的核心。他们在发明的过程中建立了一种相互借鉴、相互协作的文化，并为我们带来了与日常生活息息相关的重要技术。

继他们之后，马斯克把自己的聪明才智贡献给电力行业，也培养了诸多人才。有人可能会认为，他的培养方式比威斯汀豪斯的温文尔雅的教导要严厉一些，但是无论如何，这确实是一种有效的培养方式。

说到这个问题时，曾在SpaceX公司做了5年招聘工作的多莉·辛格（Dolly Singh）打了个比方："玉不琢不成器，埃隆·马斯克就是最出色的玉器工匠。"她承认，虽然马斯克给每个人都施加了巨大的压力，但他也鼓舞了很多人。辛格讲述了在2008年8月2日SpaceX火箭发射失败之后发生的事情。马斯克径直穿过那些媒体记者，走到他的团队面前。他提醒他们，人人都知道这是一件很艰难的事情，它就是火箭科学。马斯克向他们保证，SpaceX将提供财务上的持续支持，因此他们可以不断地尝试。马斯克对他们说："至于我，我永远不会放弃，我再强调一遍，我永远不会放弃。"不到两个月，2008年9月28日，SpaceX成为第一家把液体燃料火箭送入绕地球运行轨道的私营公司。领导力不是用来讨每个人的欢心的，而是让每个人获得成功的。[注]

马斯克还借鉴了其他行业的专业知识，比如，笔记本电脑和其他移动设备使用的最新锂电池技术，显然为他的电动汽车和电能存储设备奠定了坚实的基础。目前，马斯克正计划通过他的超级电池工厂实现规模经济，这一战略将应用于特斯拉电动汽车和Powerwall电池组这两种产品。马斯克还把SpaceX公司的一些主要制造技术引入了特斯拉汽车公司，为电动汽车的制造提供了灵感和知识。就像我们通过广角镜头研究发明和电的历史一样，埃隆·马斯克似乎非常善于激励团队从他的公司中汲取灵感。100多年前，爱迪生和威斯汀豪斯同样深谙此道。㊟

发挥科学（和科学家）的力量

人类对电的理解是基于有史以来最惊人的科学发现，这是电与其他传统能源的一个区别。这不是说科学对石油、煤炭和天然气不重要，而是说科学研究在电的历史中占据了非常重要的地位，这是其他传统能源所不具备的特点。爱因斯坦说过，电不仅仅是19世纪和20世纪科学发现道路上的一站，对电的研究本身就是一条科学发现之路。因此，人们对电力领域的科学发现寄予了更大的希望。电力领域的第一波科学发现是在富兰克林时代，富兰克林、法拉第和麦克斯韦都对比做出了贡献。经历了长时间的沉寂之后，在爱迪生时代和大规模时代，特斯拉和爱因斯坦引领了两次科学突破。虽然在此过程中电力行业在监管方面陷入困境，但仍然没有忘记激励技术创新。2016年，在电学和电力行业的最新一次革命中，埃隆·马斯克或许是最合适的“火炬手”。

今天，讨论电力行业的文献资料不计其数，但鲜少有人提到科学发现，就好像所有开创性的科学发现都已经穷尽，再也无法掀起新一轮的发现浪潮。毫无疑问，事实并非如此。当我们面对美国日益增长的能源消耗和对环境可持续发展的担忧时，我们不能想当然地认为科

学这口深井已经干涸。无论在过去还是现在，科学对于电力行业来说都非常重要，我们必须重拾对科学的关注和兴趣。

科学家也很重要，富兰克林就是一个令人信服的例子。作为一名科学家，他的地位在很大程度上是帮助他坐上谈判席的原因，他通过谈判与法国成功结盟，最终确保美国独立战争取得胜利。也许公众不能期望再次得到如此影响深远的回报，但是科学家为人处世的方式仍然值得后人学习。麦克斯韦对法拉第的尊重，以及爱因斯坦对法拉第和麦克斯韦的尊重，都是具有说服力的例子。有了富兰克林、法拉第、麦克斯韦和爱因斯坦这些好榜样，人们普遍认为科学家们可以为科学研究贡献智慧，与此同时，科学家们的发明也深深地影响了人类社会其他方面的许多争论和冲突。试想一下，在全球气候变化和页岩气开发等问题上，如果大家都坐下来，用文明的语言平和地讨论具体问题，会取得什么样的结果呢？结合医学的突破和人工智能的发展，我们可以清楚地看到科学和科学家对当今社会的影响比以往任何时候都要深刻。

就像爱迪生一样，马斯克进行科学研究的目的是开发新产品，而不是把科学研究本身作为一个目标。在他的远大理想中，这些产品中蕴藏着先进的科学思想，例如火箭科学、个人电能存储技术。据我们所知，马斯克研发新产品的动力都来源于科学。对他来说，SpaceX是移民火星的一条途径，特斯拉汽车公司和太阳城公司的宗旨则是缓解全球气候变化。他选择了太阳能光伏发电，是再一次把赌注押在科学进步上。未来能否实现大幅降低成本这个愿望，取决于制造业和材料科学能否取得重大进展。马斯克似乎对太阳城公司自行制造而不是外购太阳能电池板的商业战略押下了双倍赌注。此外，马斯克在谈论当下的主要问题时从来都毫不顾忌，他直白地表示反对发展人工智能（他对人工智能的这种态度的确非常有意思）。注

为产生巨大的经济影响力打开一扇门

新的电力技术对经济的影响并没有完全体现在电价上。技术变革不完全是为了获得更廉价的能源，还会产生巨大的经济影响力。从水力到蒸汽动力的转变影响了经济，表现在工厂无须再依水而建，而可以建在更接近用户和员工的地方。摩尔斯电报——“维多利亚时代的互联网”，以间接的方式产生了巨大的经济影响力，使许多其他行业可以不断扩大规模和业务范围。尼古拉·特斯拉的交流电动机的重大经济影响力在于，它为人们重新设计工厂创造了条件，工人们不必再被拴在地下室的蒸汽机旁边，考虑的核心问题变成了如何对产品制造最有利。在国家舞台上，政府主持建造的胡佛水坝给加州沙漠送来了水，创造了沙漠变绿洲的奇迹，乔治·米歇尔启动的页岩气革命改变了能源的未来，并为全球气候变化问题的缓解搭建了一座桥梁。

然而，相较爱迪生时代和大规模时代，预测危机时代的技术变革的影响力难度更大。在危机时代，技术变革的驱动力是最大限度地减少空气污染物对环境造成的危害。鉴于此，我们必须考虑这些新技术是否会带来积极的经济影响力。在当下这个时代（科学研究的动力不足，党派之争与骇人听闻的事件层出不穷），人们很难对新技术到底是带来了好处还是造成了危害做出公平公正的评估。

马斯克的行动并没有立即产生巨大的经济影响力，但他可能打开了这样一扇门。因为新技术的发明有其特定的最终用途，而且毫无科研基础，因此令人心动的变革机会随时都会出现。比如，马斯克正在生产的是一种新型汽车，而不仅仅是一种新的电动汽车。万斯指出，2012年，特斯拉的“Model S汽车获得了《汽车族》（*Motor Trend*）杂志的年度汽车提名”。万斯还断言：“特斯拉Model S不仅是最好的电动汽车和有史以来最好的汽车，也是人们心目中最理想的汽车。”此外，特斯拉是目前汽车行业中的战略竞争者，因为它制造汽车的平台与其他汽车企业迥然不同，它的制造方式，包括制造“发动机”（即锂电池）的方式，也与其他汽车完全不同。目前我们尚不清楚这个新平台在更广泛的经济领域内到底会产生什么样的影响，但它可能

会刺激人们对新材料、新制造方法产生兴趣，进而开创出新行业。它对经济的巨大影响力可能要在特斯拉和其他电动汽车成为引发交通行业革命的基本工具之后，才会以无人驾驶或自动驾驶汽车的形式体现出来。㊟

此外，马斯克的企业都在美国境内（至少目前如此）。也就是说，他的这三家企业将会帮助美国在其他国家赢得竞争优势。虽然马斯克没有许下任何诺言，但他复兴美国制造业的行动可能会对美国经济产生深远的影响，他所依仗的“武器”，正如万斯所言，就是“软件、电子设备、先进材料和计算能力”的独特组合。㊟

依赖公众的信任

爱迪生和威斯汀豪斯利用个人资本和私营公司来实现技术突破，因此在爱迪生时代，公众非常信任电力行业的私营公司。当英萨尔建议依据地理位置划分垄断权，并邀请政府对这些垄断企业的利润实施监管时，这种信任受到了一定程度的限制。垄断权导致区域性垄断企业所覆盖的地理区域内的竞争无疾而终，但这些公司仍然是私营公司，而不是政府所有。

大萧条有可能促使政府掌握电力企业的所有权，毕竟，大萧条被视为20世纪20年代资本主义一败涂地的结果。美国总统富兰克林·罗斯福虽然将大萧条的责任归咎于包括英萨尔在内的大企业主，但他并不主张政府掌握电力企业的所有权。尽管罗斯福拆解了当时所有主要的电力控股公司，但在面临选择时他明确表示政府不会寻求掌握电力企业的所有权。田纳西河流域管理局项目是一个例外，它是国家资本主义完成的一个罕见的大规模实验，但它没有被复制，也没有成为政府监管的一个模版。

20世纪七八十年代，政府成功地解除了对电力行业的监管，或者至少通过竞争性改革打开了电力行业的大门。但随后，人们对竞争性改革的信心因为三个备受瞩目的事件而遭到削弱：2000年的加州电力危机、2001年的安然破产和2003年的大停电事件。这三件事可能是对私营企业而言最大的信任危机，而且对象也比大萧条更具体。这三大事件中的任何一个都有可能导致竞争性改革半途而废，但好在它们并没有阻止改革的步伐。

马斯克的三家公司反映了一些成熟行业正在面对颠覆性的竞争：SpaceX挑战的是航天行业，特斯拉汽车挑战的是汽车行业，太阳城挑战的则是电力行业。此外，这些公司追求的都是明确的战略性竞争优势。有效的竞争战略是马斯克成功的核心，因此马斯克需要依赖美国公众对私营企业的信任。

承认环境政策的主导地位

20世纪中叶，发生在多诺拉、纽约和伦敦的烟雾事件，通过引人注目的真实证据证明电力行业可能造成的巨大危害，从而为环境保护提供了早期动力。随后，蕾切尔·卡森于1962年出版了《寂静的春天》，这本书堪称环保运动的里程碑著作。它也强调了实物证据的重要性，并建议由企业承担举证责任，证明它们的经营活动没有对环境造成危害。从这个意义上讲，蕾切尔·卡森是现代环保运动的先驱，也是危机时代的使者。

近年来人们与全球气候变化的斗争反映了环保主义者应对危机时代挑战的能力。最广为人知的斗争形式是“瓦克斯曼—马尔凯法案”，该议案建议制订一项复杂的旨在减少二氧化碳排放的“配额交易”计划。反对就全球气候变化问题采取行动的人以为“配额交易”计划的失败为这次行动画上了一个句号，但环保主义者却转而借助法院的力量去实施他们的B计划。包括美国最高法院在内的司法系统赋予

美国环保局在现行法律下对汽车和发电厂等所有污染源的二氧化碳排放实施监管的权力，从而为环保主义者开辟了一条道路。环保主义者的成功除了证明他们拥有强大的应对挑战的能力以外，还表明加强对电力行业的环境监管是不可避免的。

对温室气体排放实施严格监管的必然性，就是马斯克企业的立足之本。在很大程度上，他创立特斯拉汽车和太阳城这两家公司的初衷就是缓解全球气候变化问题。也就是说，这两家公司把赌注押在靠环境政策推动其业务发展上。

重新确定监管范围

由各州对电力业务实施监管是英萨尔的建议，但很快就变成了整个美国的一致做法。不过，一段时间之后，法院开始禁止各州监管州际交易，控股公司是真正的原因所在。1932年，三个最大的控股公司控制了44.5%的美国电力生产业务。此外，它们还控制了大部分的州际电力销售业务，尽管这些销售业务只占全美总发电量的14%。1935年，随着《公用事业控股公司法》和《联邦电力法》的出台，联邦政府获得了解散控股公司以及监管州际电力销售的权力。这些法案还规定了联邦政府和州政府的监管权限，一般来说，联邦政府对州际销售有监管权，而各州对州内销售有监管权。注

多年来，关于监管权限如何界定的法庭争论一直没有停止。2013年，联邦法院在两个案件中分别裁定马里兰州和新泽西州的管理委员会无权命令该州的公用事业公司参与竞争性投标，建造该州认为可靠性电力服务必不可少的发电厂。最高法院于2016年4月对马里兰州的案件做出了最终裁决，并维持了其下级法院的判决结果。

由于未来具有不确定性，而且多种可以满足未来需要的技术构成了竞争关系，因此美国的当务之急是实现电力行业技术组合的多样化。如果各州保留它们的监管权，可以命令公用事业公司建造或购买

政府青睐的新型发电厂，那么美国的电力行业肯定能拥有多样化的技术组合，因为各州的情况大不相同。注上文中所说最高法院的裁决使这种多样性受到了质疑。如果法庭沿用三个月前在另一个案件中使用的原则，它可能就会推翻下级法院的裁决，将监管权交还给州。注

监管权限对于埃隆·马斯克的公司来说非常重要，因为他们参与的州和联邦项目对电动汽车、太阳能光伏发电和电能存储等技术的激励力度非常大。而这些案件的裁决结果在某种程度上威胁到了州对特斯拉汽车、太阳城和Powerwall电池组的激励政策。此外，这些案件也引出了一个问题：法院何时应该在政策问题上尊重当局官员的意见，而不是把所有问题都视为法律问题并刻板地做出判决。让联邦计划和州计划可以共存的政策，才是正确的政策。

政府应该发挥目的性明确的作用

商业世界长期奉行的一个理论是，如果真的需要政府在新技术的开发过程中发挥作用，那么它应该在早期阶段发挥比较大的作用，而在后期阶段则应该有所收敛。具体来说，该理论认为，新技术的开发需要经历研究、开发、演示发布和商业化4个阶段，政府所能发挥的最大作用应该是在研究阶段，之后它的作用将逐渐减小。政府应该更多地参与研究，因为回报的不确定性会降低个人投资于技术研发的可能性。然而，纵观电力行业的历史，这个理论似乎明显被颠覆了。

至少在过去，政府在早期阶段的参与程度最低。在富兰克林时代，通过富兰克林、法拉第和麦克斯韦等个体的努力，科学成果层出不穷。爱迪生时代亦如此，爱迪生和威斯汀豪斯（还有特斯拉）的研究要么靠自筹资金，要么靠个人投资。这可能只是时代基调的一种直接反映（直到大萧条时期，政府的作用才显著加大），但它确实颠覆了关于新技术研发四阶段的理论。

政府的第一次大规模参与源于英萨尔的监管协议。按照该协议，美国被划分为若干垄断性区域，然后以成本加成法确定电价。因此，政府的大规模参与不仅发生在商业化阶段，而且参与形式完全不同于以前。政府没有为任何阶段提供资金支持，而是启动了监管机制，在谁可以从事电能销售、电价如何确定等问题上掌握了决定权。因为英萨尔认为，规模经济和范围经济将有助于实现他当时的主要目标：让所有人都能用上电并用得起电。事实证明，英萨尔的观点是正确的。

随着时间的推移，目标发生了变化，实现目标的策略也必须随之改变。今天人们挂在嘴边的主要目标是缓解全球气候变化。与此同时，最常见的实现目标的策略是指定“官方技术”，并且提供一系列直接和间接的补贴。现在，风能和太阳能等可再生能源已经成为官方技术，并且得到了联邦政府的资助和各州政府的许可。

马斯克的公司充分享受到这些资金和许可带来的好处，但它们也因此受到了严厉的批评。《洛杉矶时报》（*Los Angeles Times*）称，政府对这三家公司的补贴总计多达49亿美元，并且暗示马斯克取得成功的原因就在于这些补贴。马斯克驳斥了这个观点，理由是他的企业得到的补贴与其他能源企业得到的补贴并无多大差别。尽管如此，政府“挑选赢家”而没有让所有企业在公平竞争的环境中博弈的做法，仍然引起了人们的质疑。政府必须发挥新的、目的性十分明确的作用，必须清楚阐明目标，还要为实现这一目标制定全面、具体的策略。注

透过广角镜头做决策

要了解过去、预测未来，决策者们必须透过广角镜头来考虑所有事（包括可能发生的危机）。

对于马斯克和他的企业来说，这个历史教训意味着他们必须考虑若干不那么直接的因素，并理解它们的重要性。特斯拉电动汽车代表

的不仅仅是传统内燃机与锂电池“引擎”之间的直接竞争。电动汽车的出现可能会颠覆整个汽车行业，包括向无人驾驶汽车的转型。电可能成为这些汽车的首选能源，一旦取得成功，就将大大提升特斯拉汽车的销售业绩。注

法律、政策、地缘政治和金融也很重要。特斯拉汽车公司面向美国零售客户的销售受到传统汽车经销商的挑战，理由是长期存在的州法律要求汽车制造商只能通过特许经销商销售汽车。与此同时，不断提高传统汽车燃油效率标准的政策又为电动汽车的市场推广创造了竞争优势，因此，马斯克支持这些政策。在全球范围内，锂的需求激增引发了人们对其供应源的担忧。一些人说，锂的供应量有70%来自三个国家，即智利、阿根廷和玻利维亚。也有一些人指出新的供应源已经出现，其中一些位于美国境内。最后，鉴于英萨尔和安然公司的财务丑闻，有人对马斯克慷慨投资自己公司的行为提出了质疑。注

前进的道路

第二次电力系统之争

除了本章开头引用的赫胥黎的话以外，还有两个人就历史的教训发表的著名言论也值得我们铭记。第一个人是乔治·桑塔亚纳（George Santayana），他说：“忘记过去的人，注定会重蹈覆辙。”第二个人是马克·吐温，他说：“历史不会重演，但总会惊人地相似。”电力行业就曾发生过两个惊人地相似的历史事件：第一次电力系统之争和第二次电力系统之争。注

几十年前，爱迪生公司和威斯汀豪斯公司这两个电力行业巨头因为电力系统的统治权而展开了竞争。最后，威斯汀豪斯公司取得了胜利，它的交流电系统被证明比爱迪生公司的直流电系统更有价值。这

个故事还有一个重要的后续情节：在英萨尔的帮助下，威斯汀豪斯的电力系统还击败了有轨电车和汽车制造厂等大客户的自发电系统。交流电系统赢得了胜利，因为它满足了用户的需要：人人用得上电也用得起电。由于电力系统的规模经济和范围经济，电价大幅下降，成本加成价格监管机制又为这两种经济模式创造了条件。从这个角度看，交流电系统取得了巨大的成功。即使仅从工程技术层面看，它也是一个巨大的成功。2003年，美国国家工程院将电气化评选为20世纪最伟大的工程技术成就。注

假设现在有一些新兴的电力系统证明了它们的技术优势，用户还会选择交流电系统吗？这个发电厂分散各处、输电网纵横交错的电力系统仍然是最佳选择吗？如果这套系统仍然可以满足他们的需要，用户就会继续选择它。今天，用户仍然希望人人用得上电也用得起电，但他们还有其他需要，比如，电力系统有更高的本地或“门阶”可靠性，更好的环境绩效，以及更明确的选择权。

极端天气事件加剧了人们对门阶可靠性的担忧。虽然交流电系统总体上是可靠的，但用户希望即使在暴风雨天气条件下，家、办公室和工厂里的灯也不会熄灭。人们对2012年的超级飓风“桑迪”在新泽西州造成的破坏仍心有余悸，其中包括失去电力服务所造成的损失。尽管人们普遍清楚这一巨大损失，但是在当地一家公用事业公司提议投入巨额资金，以防止未来该地区再次失去电力服务时，用户们经过商议，最后只同意承担31%的资金。这可能是因为消费者没有看到投资地区电网、提高门槛可靠性的做法会带来什么样的回报。此外，媒体频繁报道极端天气、网络攻击乃至恐怖袭击都可能造成电力服务中断，导致公众对地区电网的可靠性产生怀疑，这可能是一个更普遍的原因。注

在满足用户的这三个需求时，电网的竞争对手如何取胜呢？电网有一种通常被称为微电网的可替代技术。微电网仍然是一个电网，它

根据电力需求供应电能，但规模要小得多。近年来，普林斯顿大学的微电网受到了广泛关注。在门阶可靠性方面，它的表现为它加了不少分。在超级飓风桑迪肆虐期间，微电网做到了让灯光不灭。在环境绩效方面，包括普林斯顿大学微电网在内的所有微电网似乎都有很好的表现，因为它们可以调动各种资源为用户服务。这些资源包括太阳能等可再生能源，需求侧资源（比如供应紧张时停止用电），以及天然气发电厂等传统资源。与此同时，消费者选择权是普林斯顿微电网建立的主要动机，普林斯顿大学可以选择是从电网还是从微电网获取电能。注

电网的另一个竞争对手——个人电力系统，也有很好的表现。马斯克的公司就是一个典型的例子。我们说过，太阳城公司的太阳能屋顶和Powerwall电池组的组合将起到个人电力系统的作用。就本地可靠性而言，Powerwall电池组的作用就是为电网的电力中断做准备，它在这方面的表现非常好。如果个人电力系统的大部分电能都是由太阳能屋顶提供的，那么它在环保方面的表现也会很好。消费者选择权是这个系统的功能之一，因为用户可以自主选择是从电网购买电能还是从个人电力系统获取电能。

这些新兴技术为第二次电力系统之争创造了机会。事实上，这是规模较小、区域性的爱迪生式电力系统（以微电网和个人电力系统为代表）和威斯汀豪斯式大规模电网展开的又一场竞赛。第一次交锋标志着向交流电系统的重大良性发展，第二次交锋可能会带来同样的好处，它会改善电力系统在用户心目中的门阶可靠性和环境绩效，并为用户提供多种选择。这并不意味着微电网和个人电力系统的成本不高，也不意味着所有的技术和政策问题都已经解决了，同样没有说他们很可能会获胜。然而，历史表明，规则和法律必须为公平的斗争让路。

第二次电力系统之争也可以被视为是电力的第二次大众化。英萨尔决定为所有人提供电力服务，从而推动了电力的第一次大众化的进程。在不久的将来，微电网和个人电力系统可能会推动电力的第二次大众化的进程，因为它们允许个人用户对电力系统的可靠性、环境绩效和根据用户需求量身定制的选择机会进行“投票表决”。

碳排放税、税制改革和政策清除

成本加成定价机制使人们失去了投资开发新技术的动力。如果新技术研发成功，公用事业公司最多只能赚取标准利润；如果新技术不成功，公司就赚不到任何利润甚至蒙受损失，那么公用事业公司为什么要冒险投资开发这项新技术呢？为了应对这种动力不足的情况，政府指定了“官方技术”。核电曾经也是一种官方技术，艾森豪威尔在《让原子能为和平服务》的演讲中指出，核能发展的总体目标就是让核能成为“冷战”中的一种经济武器。根据这个目标，美国政府为核能发展提供了补贴。

随后，总体目标发生了变化，现在的目标是为缓解全球气候变化服务。官方技术也发生了变化，先后为风能、太阳能、清洁煤、微电网和个人能源。用于实现这些官方技术的工具和手段也各不相同。在资金方面，有税收优惠（比如生产税减免、投资税减免）、贷款担保、现金补贴和研发基金。除了钱，还可以使用行政手段。比如，美国的29个州和哥伦比亚特区都有规定，要求当地的公用事业公司利用可再生能源生产一定比例的电能。注

联邦政府和州政府可以采取对碳排放明码标价（收税）的方式，以取代补贴和行政命令。改为征收碳排放税之后，政府“挑选赢家”的问题将迎刃而解，因为许多“赢家”其实都是输家。征收碳排放税也为碳排放技术提供发展动力。值得注意的是，采取这种方式之后，

企业可以立刻投入资金进行预防性控制，也可以先缴纳碳排放税，等到必要的时候再进行调整。

对于那些非常关注全球气候变化的人来说，碳排放税是减少二氧化碳排放的一个广泛而永久的激励措施。同样重要的是，如果把征收碳排放税当作所得税改革的一种方案，那么那些不太关心全球气候变化的人可能也会接受这种做法。也就是说，用对不受欢迎的行为（碳排放）征税的方式，来取代针对受欢迎的行为（明智投资、辛勤工作）征税的方式。在碳排放税和税制改革达成这种妥协之后，就有可能出台第三种政策，即由联邦政府和州政府实施“政策清除”，也就是说，针对官方技术的授权和资金支持都将被取消。

比尔·盖茨、埃克森美孚公司、乔治·舒尔茨（George Shultz）、詹姆斯·贝克三世（James BakerⅢ）等有影响力的人物或企业都建议给碳排放明码标价。展望未来，除了碳排放税、税制改革和政策清除以外，可能还会出台许多类似的新政策。在当下这个时代，我们必须摆脱乱象纷呈的意识形态斗争。政府必须发挥积极的作用，认真思考如何实现当前的主要目标，而不要因为政府规模等抽象概念分散注意力。同样，正如比尔·盖茨所提议的那样，未来必须建立在一系列新技术（有些技术现在甚至无法想象）的基础上，而不能局限于今天的风能和太阳能技术。注

历史留给世人的遗产

历史可以从两个方面帮助企业和政策制定者拓宽视野。一方面，历史可以引导政策制定者跨越时空，因为昨天发生的事情必然会对今天发生的事情产生影响。另一方面，历史还可以让政策制定者看清推动变革的所有因素，包括科学技术、政治和地缘政治、监管政策、法律和法院、商业策略、经济学以及包罗万象的“文化”。

在电力行业中，体现历史作用的例子俯拾即是。如果错误地认为电的历史开始于爱迪生时代，就会错过富兰克林、法拉第和麦克斯韦的科学发现。他们的科学发现都是电的早期历史中的精华，如果错过，我们就会曲解历史，也无法看清未来。

在尼古拉·特斯拉的电动机出现之前，人们还无法衡量瓦特蒸汽机的全部意义。瓦特蒸汽机使制造商依赖于（有人说是痴迷于）机械动力，这说明制造商急于尝试新的、更好的动力源，比如特斯拉的交流电动机。从这个意义上说，瓦特的创新为特斯拉的创新奠定了基础。由于电动机被从地下室解放出来，人们得以对工厂布局进行卓有成效的重新设计，并产生了巨大的经济影响力。

同样，如果不考虑漫长历史中发生的一系列事件，包括第一次电力系统之争、安然破产等，人们对电力行业的信任就无法维系。透过广角镜头我们可以看到，从20世纪60年代芝加哥学派的经济监管理论，到20世纪70年代的第一次石油危机，到20世纪90年代初期的合并浪潮，再到21世纪呼吁建立区域性输电组织，40多年的时间过去了，电力行业的竞争性改革才逐渐受到人们的欢迎。如果没有历史的视角，就不会看到20世纪80年代解除对天然气和电力的监管为今天的页岩气革命播下了种子。

因此，回溯历史可以让我们在特定的时间找到不寻常的证据。比如，有人说科学和信仰不能共存，而且信仰会阻碍科学进步。迈克尔·法拉第的生活和工作为这一说法提供了富有说服力的反例，法拉第的信仰对他开创性的科学突破几乎没有造成任何阻碍。事实上，由于法拉第信奉唯一的神，因此他全心全意地寻找力的统一性。法拉第发现的电与磁之间的联系今天仍然是电力和电信业务的基础。

对许多人来说，科学和技术占用了大量资金，目的是让有钱人制造供他们娱乐的玩具。比如，有人就对马斯克的企业提出了这样的批评。但是，透过历史的视角，我们可以看到有钱人制造的“玩具”最

终可能会变成科学和技术上的重大进步，让所有人受益。因为拥有了足够的财富，所以富兰克林选择提前退休，并花5年的时间学习电学，最终他取得了科学突破。在爱迪生建造的第一批发电站中，有一部分是在私人住宅中，甚至是在富人的船上。当然，在那个时代，几乎所有的投资都来自有钱人。马斯克说过，昂贵的特斯拉Model S汽车的开发将引领人们开发更便宜的电动汽车。现在看来，他的预言已经得到了证实。革命开始的方式和地点并不重要，最重要的是它的结果，即它是否带来了真正的进步。㊟

同样，如果认真考虑历史证据，关于政府作用的意识形态之争就可以化解。随着时间的推移，政府的角色发生了巨大变化，然而政府在设定和服务当时的主要目标方面常常会取得成功。关键的问题在于实践远比纯粹的意识形态之争要有用得多。

这本书讲述的这些历史，目的是想告诉读者电力业务在发展过程中经历的成功和失败。如果透过广角镜头审视历史，就可以把历史视为未来的指南。尽管如此，我们也无法准确预测未来将会如何，也无法保证人们会从历史中吸取教训。我唯一可以保证的是，无论发生什么，这都是一部关于电的科学史。

---

1. Aldous Huxley,“Case of Voluntary Ignorance,” inCollected Essays (New York:Harper Brothers,1959).
2. Huxley,“Case of Voluntary Ignorance.”
3. “History of Zip2,”Ecorner: Stanford University’s Entrepreneurship Corner,October 8,2003,accessed October 1,2016,<http://ecorner.stanford.edu/authorMaterialInfo.html?mid=397>;Ashlee Vance,Elon Musk: Tesla,SpaceX,and the Quest for a Fantastic Future (New York: HarperCollins,2015),72,84 －89;“Founding of PayPal,”Ecorner: Stanford University’s Entrepreneurship Corner.October 8,2004,accessed October 1,2016,<http://ecorner.stanford.edu/videos/378/Founding-of-Paypal>.

4. “Completed Missions,”SpaceX,accessed October 1,2016, <http://www.spacex.com/missions>;Andrew Chaikin,“Is SpaceX Changing the Rocket Equation?,” Air & Space Smithsonian,January 2012,accessed October 1,2016,<http://www.airspacemag.com/space/is-spacex-changing-the-rocket-equation-132285884/?no-ist>;“SpaceX Successfully Launches Falcon 1 to Orbit,” SpaceX,September 28,2008,accessed October 1,2016, <http://www.spacex.com/press/2012/12/19/spacex-successfully-launches-falcon-1-orbit>;William Jacobs,“Launch Systems Rockets Priced to Move,” Popular Science267,no.5,November 2004;William Harwood,“Experts Applaud SpaceX Rocket Landing,Potential Savings,” CBS News,December 22,2015,accessed October 1,2016,<http://www.cbsnews.com/news/experts-applaud-spacex-landing-cautious-about-outlook/>;Jeffrey Kluger,“Things to Know About SpaceX,”Time,accessed October 1,2016, <http://time.com/space-x-ten-things-to-know/>;Vance,Elon Musk,5.

5. Fred Lambert,“SpaceX Transferred Novel Welding Techniques and Equipment to Tesla Motors,”electrek,May 24,2015,accessed October 1,2016,<https://electrek.co/2015/05/24/spacex-transferred-novel-welding-techniques-and-equipment-to-tesla-motors/>;“Tesla Gigafactory,”Tesla,accessed October 1,2016, <https://www.tesla.com/gigafactory>;Jonathan O’Connell,“The Gamble on Tesla’s Gigafactory in the Nevada Desert,”Washington Post,April 10,2015,accessed October 1,2016, <http://www.washingtonpost.com/business/capitalbusiness/the-gamble-on-teslas-gigafactory-is-a-big-one--in-many-fashions/2015/04/10/50e9de40-d4c8-11e4-a62f-ee745911a4ff_story.html>

6. Maria Galucci,“SolarCity to Build World’s Largest Solar Panel Plant on U.S.Turf,Spurring Solar Manufacturing Revival,”International Business Times,June 17,2014,accessed October 1,2016, <http://www.ibtimes.com/solarcity-build-worlds-largest-solar-panel-plant-us-turf-spurring-solar-manufacturing-1603556>;Apurba Sakti,Raanan Miller,and Fikile Brushett,“What’s Cost Got to Do with It? An Assessment of Tesla’s Powerwall,”MIT Energy Initiative,June 12,2015,accessed October 1,2016,<http://energy.mit.edu/news/whats-cost-got-to-do-with-it/>;Dana Hull,“Tesla Powerwalls for Home Energy Storage Hit U.S.Market,”Bloomberg,May 4,2016,accessed October 1,2016, <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-05-04/tesla-powerwalls-for-home-energy-storage-are-hitting-u-s-market>.

7. 140个字符指的是推特网对推文的字数限制。——译者注。

8. Vance,Elon Musk,349;Jerry Hirsch,“Elon Musk’s Growing Empire Is Fueled by$4.9 Billion in Government Subsidies,”LA Times,June 1,2015,accessed October 1,2016,<http://www.latimes.com/business/la-fi-hy-musk-subsidies-2015053-story.html#page=1>;Daniel Wiesfield,“Peter Thiel at Yale: We Wanted Flying Cars,Instead We Got 140 Characters,” Yale School of Management,April 27,2013,accessed October 1,2016,<http://som.yale.edu/peter-thiel-yale-we-wanted-flyin-cars-instead-we-got-140-characters>;see,for example,Nicole Allan,“Who Will Tomorrow’s Historians Consider Today’s Greatest Inventors?,”Atlantic,November 2013,accessed October 1,2016,<http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2013/11/the-inventors/309534/>.

9. Charley Grant,“More Than Money at Stake in Tesla’s SolarCity Deal,”Wall Street Journal,September 26,2016,accessed October 1,2016,<http://www.wsj.com/articles/more-than-money-at-stake-in-teslas-solarcity-deal-1474903454>;Adam Hartung,“Why Investors Should Support the Tesla-SolarCity Merger,”Forbes,September 23,2016,accessed October 1,2016,<http://www.forbes.com/sites/adamhartung/2016/09/23/why-investors-should-support-the-tesla-solarcity-merger/#33263c784c32>.

10. Dana Hull,“Tesla Breakup with Mobileye Turns Ugly,” Bloomberg,September 16,2016,accessed October 1,2016,<http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-09-16/tesla-says-mobileye-tried-to-block-its-auto-vision-capability>.

11. Seth Fiegerman,“Samsung Won’t Be the Last to Have Exploding Batteries,”CNN,September 13,2016,accessed October 1,2016,<http://money.cnn.com/2016/09/13/technology/samsung-lithium-batteries/>;Katie Fehrenbacher,“Why Tesla’s New Battery Pack Is Important,”Fortune,August 24,2016,accessed October 1,2016,<http://fortune.com/2016/08/24/tesla-100kwh-battery-pack/>;Alex Knapp,“SpaceX Identifies Possible Cause of Rocket Explosion,Anticipates November Launch,”Forbes,September 23,2016,accessed October 1,2016,<http://www.forbes.com/sites/alexknapp/2016/09/23/spacex-identifies-possible-cause-of-rocket-explosion-anticipate-november-launch/#617c2aa27c62>.

12. Elon Musk,“Master Plan,Part Deux,” July 20,2016,accessed October 1,2016,<https://www.tesla.com/blog/master-plan-part-deux>;Rebecca Hersher and Camila Domonoske,“Elon Musk Unveils His Plan for

Colonizing Mars," The Two-Way, September 27, 2016, accessed October 1, 2016, <http://www.npr.org/sections/thetwo-way/2016/09/27/495622695/this-afternoon-elon-musk-unveils-his-plan-for-colonizing-mars>.

13. See, for example, Patrick J. Kiger, "U.S. Phase-Out of Incandescent Light Bulbs Continues in 2014 with 40-, 60-Watt Varieties," National Geographic Society, December 31, 2013, accessed October 1, 2016, <http://energyblog.national geographic.com/2013/12/31/u-s-phase-out-of-incandescent-light-bulbs-continues-in-2014-with-40-60-watt-varieties/>.

14. "Former SpaceX Employee Explains What It's Like to Work for Elon Musk," Business Insider, June 24, 2014, accessed October 1, 2016, <http://www.businessinsider.com/what-its-like-to-work-for-elon-musk-2014-6>.

15. "Meet the Battery-Powered Home: Tesla Joins the Race to Help Homeowners Unplug from the Grid," Economist, May 14, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.economist.com/news/science-and-technology/21651106-tesla-joins-race-help-homeowners-unplug-grid-dawn-battery-powered-home>; Lambert, "SpaceX Transferred Novel Welding Techniques and Equipment to Tesla Motors."

16. "Photovoltaics." U.S. Department of Energy, accessed October 1, 2016, <http://energy.gov/sites/prod/files/2014/08/f18/2014SunShotPortfolio_PV.pdf>; Eric Mack, "Why Elon Musk Spent $10 Million to Keep Artificial Intelligence Friendly," Forbes, January 15, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.forbes.com/sites/ericmack/2015/01/15/elon-musk-puts-down-10-million-to-fight-skynet/>

17. Vance, Elon Musk, 267 – 68.

18. Kim Bhasin, "Elon Musk: 'If We Published Patents, It Would Be Farcical,'" Business Insider, November 9, 2012, accessed October 1, 2016, <http://www.businessinsider.com/elon-musk-patents-2012-11#ixzz3ekSUvPCn>; Vance, Elon Musk, 22.

19. "Utility Corporations: Summary Report of the Federal Trade Commission," 38, 43.

20. Craig R. Roach, Frank Mossburg, and Vincent Musco, "Partnership, Not Preemption: How State-Sponsored Planning Can Fit with FERC's Capacity Markets," Public Utilities Fortnightly, December 2013, accessed October

1,2016,<https://www.fort nightly.com/fortnightly/2013/12/partnership-not-preemption>.

21. Craig R.Roach and Vincent Musco,“Federal Versus State Jurisdiction in the Electricity Business: Two Back-to-Back Decisions in 2016 Will Fundamentally Re-define the Jurisdictional Split,”Public Utilities Fortnightly,May 2016,accessed October 1,2016, <https://www.fortnightly.com/fortnightly/2016/05/federal-versus-state-jurisdiction-electricity-business>.

22. Hirsch,“Elon Musk’s Growing Empire Is Fueled by $4.9 Billion in Government Subsidies”;Reem Nasr,“Elon Musk: Incentives Not Necessary,but Helpful,”CNBC,June 1,2015,accessed January 5,2017, <http://www.cnbc.com/2015/06/01/elon-musk-we-are-not-getting-a-check-from-the-govt.html>.

23. Craig R.Roach and Vincent Musco,“Electric Vehicles (Update),” Southwest Power Pool Annual Looking Forward Report: Strategic Issues Facing the Electricity Business,April 15,2016.

24. Brian Fung,“Why Tesla Keeps Fighting for Direct Sales When It Could Just Work with Dealers,”Washington Post,October 22,2014,accessed October 1,2016,<https://www.washingtonpost.com/news/the-switch/wp/2014/10/22/why-tesla-keeps-fighting-for-direct-sales-when-it-could-just-work-with-dealers/>;Mike Ramsey, “Tesla Weighs New Challenge to State Direct-Sales Ban,”Wall Street Journal,March 28,2016,accessed October 1,2016,<http://www.wsj.com/articles/tesla-weighs-new-challenge-to-state-direct-sales-bans-1459189069>;Mike Ramsey, “Tesla Presses Its Case on Fuel Standards,”Wall Street Journal,August 2,2015,accessed October 1,2016,<http://www.wsj.com/articles/tesla-presses-its-case-on-fuel-standards-1438559469>;Henry Sanderson,“Tesla in Stand-Off over Lithium Supply,”Financial Times,December 15,2015,accessed October 1,2016,<http://www.ft.com/cms/s/0/4a924a64-99df-11e5-987b-d6cdef1b205c.html#axzz47bErNWW4>;Susan Pulliam,Mike Ramsey,and Brody Mullins,“Elon Musk Supports His Business Empire with Unusual Financial Moves,”Wall Street Journal,April 27,2016,accessed October 1,2016, <http://www.wsj.com/articles/elon-musk-supports-his-business-empire-with-unusual-financial-moves-1461781962>.

25. George Santayana,The Life of Reason (New York: Prometheus Books,1998),82;“A Likely Story ...And That’s Precisely the Problem,” Washington Post,April 17,2005,accessed October 1,2016,

<http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2005/04/16/AR2005041600154.html>.

26. “Greatest Engineering Achievements of the 20th Century,” National Academy of Engineering, 2003, accessed October 1, 2016, <http://www.greatachievements.org/>.

27. Kayla Webley, “Hurricane Sandy by the Numbers: A Superstorm’s Statistics, One Month Later,” Time, November 26, 2012, accessed October 1, 2016, <http://nation.time.com/2012/11/26/hurricane-sandy-one-month-later/>; “PSE&G Reaches $1.22 Billion Settlement in Energy Strong Proceeding,” Transmission & Distribution World Magazine, May 7, 2014, accessed October 1, 2016, <http://tdworld.com/distribution/pseg-reaches-122-billion-settlement-energy-strong-proceeding>; PG&E sought $3.9 billion and only received $1.22 billion; Rebecca Smith, “Assault on California Power Station Raises Alarm on Potential for Terrorism,” Wall Street Journal, February 5, 2014, accessed October 1, 2016, <http://www.wsj.com/articles/SB100014240527023048511045793591419 41621778>; “Smart Grid Cyber Security Market & Electrical Energy Storage Technology in the Intelligent Grid Analyzed in New Market Research Reports,” PR Newswire, September 17, 2012, accessed October 1, 2016, <http://www.prnews wire.com/news-releases/smart-grid-cyber-security-market--electrical-energy-storage-technology-in-the-intelligent-grid-analyzed-in-new-market-research-reports-170005586.html>; Roach and Musco, Southwest Power Pool Annual Looking Forward Report (Washington, DC: Boston Pacific Company, Inc., April 23, 2013) 62.

28. Morgan Kelly, “Two Years after Hurricane Sandy, Recognition of Princeton’s Microgrid Still Surges,” Princeton University, October 23, 2014, accessed October 1, 2016, <https://www.princeton.edu/main/news/archive/S41/40/10C78/index.xml?section=featured>.

29. “Renewable Portfolio Standard Policies,” Database of State Incentives for Renewables& Efficien, September 2014, accessed October 1, 2016, <http://www.dsireusa.org/resources/detailed-summary-maps/>.

30. J ames Bennet, “Bill Gates: ‘We Need an Energy Miracle,’” Atlantic, November 16, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/2015/11/we-need-an-energy-miracle/407881/>; Amy Harder and Bradley Olson, “Exxon Touts Carbon Tax to Oil Industry,” Wall Street Journal, June 30, 2016, accessed October

1,2016,<http://www.wsj.com/articles/exxon-touts-carbon-tax-to-oil-industry-1467279004>;George P.Shultz and James A.Baker III,“A Conservative Answer to Climate Change,”Wall Street Journal,February 7,2017,<https://www.wsj.com/articles/a-conservative-answer-to-climate-change-1486512334>.

31. J ack Stewart,“Tesla’s Plan for World Domination Includes Buses and Semis,”Wired,July 20,2016.<https://www.wired.com/2016/07/teslas-plan-world-domination-includes-buses-semis/>.

后记　想象未来

我们需要能源奇迹。

——比尔·盖茨（2014）注

本杰明·富兰克林接受了前所未有的挑战，即想象神秘的电是什么样子。今天，我们面临着同样的挑战，即想象电在未来世界中的用途和来源。要创造第二个富兰克林时代，或者一个新发现层出不穷、令人敬畏的时代，我们就必须拥有像富兰克林那样的无限想象力，必须摆脱旧的科学、技术、政治、政策、经济、商业战略和文化等的束缚。而唯一合理的限制条件是，我们的想象必须有助于实现预定的明确目标。

科学之路不止一条

幸运的是，世界不乏想象力。其中一个原因是，目光远大、勤奋钻研的科学家，比如法拉第和麦克斯韦，已经开辟了一条道路。他们告诉我们，只需推拉线圈中的磁体就可以产生电流。通过燃烧煤炭、焚烧垃圾、控制核反应等一系列方法产生的蒸汽，可以产生推拉磁体所需的机械动力。用压缩天然气驱动燃气涡轮机的方法人们已经驾轻就熟，并且得到了广泛的应用。推拉磁体也可以借助其他的力来完成，比如风、海浪或河流的力量。注

有人认为，旧的技术也可以玩出新的花样。这里所说的旧技术指的是核能，新花样则是指建造小型反应堆。2011年，芝加哥大学通过

一项建设性研究，谨慎地阐明了建造小型模块化反应堆的好处。该研究认为，核能最大的好处是没有碳排放，而且可以大规模建造。但研究者坦承，小型模块化反应堆面临着诸如“安全、防止扩散、废料管理和经济竞争力”等方面的一系列难题。[注]

有的技术易于理解，也可以应用，但解释起来有点儿难度，比如太阳能光伏发电和燃料电池等技术。太阳能光伏发电技术能把光转换成原子层级的电能，这项技术会让我们想起爱因斯坦，因为他就是凭借光电效应方面的研究获得诺贝尔物理学奖的。太空计划利用这项技术为航天器提供动力，这是该技术的首次正式应用。太阳能光伏发电也需要用到计算机中的半导体材料，事实上，太阳能光伏发电技术与计算机科学之间的联系，正是人们乐观地认为它可以大幅提升效能、降低成本的原因之一。[注]

燃料电池在将氢和氧结合成水的同时产生电能，即电“流”。由于这是一种化学反应，它几乎不会产生燃烧化石燃料时产生的空气污染物排放，所以这是燃料电池最具吸引力的特点之一。不过，燃料电池对排放（包括温室气体排放）的总体影响，主要取决于氢的来源。燃料电池的另一个吸引人的特点在于，它们可以堆叠，以满足任何规模的电力需求。相较而言，燃料电池的劣势是成本比较高。[注]

在第二次电力系统之争中，光电和燃料电池可能都是重要的棋子。其中一个原因是，从规模的角度看，两者都可以用作个人能源。另一个原因是，设备在制造的过程中有可能大幅提升效能、降低成本。规模经济对制造业有效，但对发电厂无效。

新科学是新技术的核心，以新材料石墨烯为例。2010年的诺贝尔物理学奖被授予安德烈·盖姆（Andre Geim）和康斯坦丁·诺沃肖洛夫（Konstantin Novoselov），因为他们完成了“石墨烯的制备、分离、鉴定与表征”。石墨烯是只有一个原子厚度的碳。瑞典皇家科学

院评价碳是“元素周期表中最迷人的元素”，石墨是碳的常见形式，铅笔芯中就含有石墨。瑞典皇家科学院说，任何用过铅笔的人，都“可能在不知情的情况下制造出类似石墨烯的材料”。这两位诺奖得主也在论文中宣称，石墨烯“表现出大量新的物理特性和潜在应用”。对于这本书而言，电力技术的潜在应用才是最重要的。曼彻斯特大学请人们“想象在几秒钟内给智能手机充满电，或者在几分钟内给一辆电动汽车充满电，将会是一种什么感觉。石墨烯就有这样的能力”。此外，“石墨烯薄膜可以帮我们从大气中过滤出氢气，这可能为空气发电铺平道路”。(注)

接下来，我们以让-皮埃尔·索维奇（Jean-Pierre Sauvage）、弗雷泽·斯托达特（Fraser Stoddart）爵士和伯纳德·费林加（Bernard Feringa）的研究为例。因为“在分子机器的设计和合成”方面做出的贡献，他们共同获得了2016年的诺贝尔化学奖。在颁奖典礼上，瑞典皇家科学院把他们取得的科学突破比作支持电动机工作的科学原理：“从技术开发的角度看，分子马达与19世纪30年代的电动机处于同一个发展阶段。当科学家摆弄各种各样的旋转曲柄和轮子时，他们并不知道这些装置会构成洗衣机、电风扇和食物处理机。分子机器很可能被用于开发诸如新型材料、传感器和储能系统之类的东西。”

我举石墨烯和分子机器这两个例子，是为了告诉大家新科学可能会产生怎样的影响。它们绝不是科学发展的唯一道路，但它们可以告诉我们，如果我们开动脑筋发挥想象力，就会得到什么。(注)

向所有技术敞开大门

这本书讲述的这段历史的核心内容是电力的生产与输送技术。然而，认为“电力行业发展的驱动力全部来自于技术”的观点显然是错

误的。技术的选择本身就会受到许多因素的影响，包括法律、政策和法规。我们必须透过广角镜头，认真研究过去的那些决策，才能充分看清它们的本质。爱迪生与特斯拉之间的电流之争可能是最典型的例子，它表明优势更大的技术更有希望取胜，而其竞争对手则会失败。交流电系统最有助于实现当时的主要目标，因此它胜利了，并得到了建立地域性垄断组织等政策的鼓励和支持。

在这场公平的竞争之后，英萨尔提出的成本加成定价法对技术的选择起到了显著的推动作用。这种定价机制促进了燃煤发电等资本密集型技术的发展，尽管石油和天然气发电的竞争威胁仍然存在。

指定官方技术的做法随后粉墨登场，核能就是最具代表性的例子。尽管美国20%的发电量来自核能，但核能最终未能实现让所有人都用得上电也用得起电力的目标。从长远来看，核能被指定为官方技术并不明智，因为它造成了核电站上马速度过快、规模过大的问题。毕竟，核能在诞生之初规模并不大，仅是为了给潜艇提供动力。[注]

今天，风能和太阳能在美国被指定为官方技术，由各州政府提供许可证，由联邦政府提供财政补贴。与核能不同的是，各州通常要求风能和太阳能生产商在价格和性能上进行竞争，以赢得许可证。这是一个显著而有益的区别，因为在竞争的驱动下，性能和价格都将朝着好的方向发展。

页岩气尚未被指定为官方技术，但它是电力行业当下实现的最重要的技术革新。这是一种真正的创新，它使天然气的供应量充足、价格低廉，使电价保持在较低的水平上。对于页岩气来说，政府解除对天然气和电力的监管，是向米歇尔和戴文能源公司敞开了大门。尽管页岩气尚未成为官方技术，但它有助于帮美国实现长期以来梦寐以求的目标，即让所有人都用得上电也用得起电。此外，它还有助于实现门阶可靠性、环境保护和掌握选择权等其他目标。

全世界最富有的人

即使我们现在拥有丰富的技术，我们也不能宣称已经打开了通向所有技术的大门。所有道路都会有岔路口，都需要我们做出选择。所以由谁选择及如何选择是一个非常重要的问题。

世界上最富有的人会做什么？我们的答案可能有一定的准确性，因为比尔·盖茨已经承诺用他的财产和聪明才智去应对全球气候变化。他的未来计划可概括为“一推一拉”，“一推”是指推动研发速度越来越快，“一拉”是指拉动碳排放税不断上涨。在一推一拉之间，私人投资者需要研发大量技术，每一次研发都是一次赌博。注

哪些技术会成为盖茨押下赌注的目标呢？他为可能胜出的技术制定了雄心勃勃的标准：零碳排放，全天候的可靠性，比化石燃料更便宜（适当的时侯可能需要计入碳排放税）。盖茨直言不讳地说，目前的技术（包括风能和太阳能），虽然已经取得了一些进展，但仍然达不到要求，页岩气也不是最终的解决方案。盖茨甚至警告说，把当前的天气事件完全归咎于全球气候变化，有些言过其实了；就目前而言，厄尔尼诺现象是一个更主要的因素。注

到目前为止，盖茨已经投资了大约10亿美元，包括对15家企业的直接投资和通过风险投资进行的30次间接投资。从其中4个投资对象可以看出他的选择类型和范围。第一个投资对象是核能，因为核能是已经实现大规模建造的唯一零碳排放技术。盖茨资助创立的泰拉能源公司研发行波堆技术，该技术使用没有经过铀浓缩的核废料发电。于是，核扩散问题得以解决。泰拉能源公司声称其自动安全功能可以保证不会发生像福岛核事故那样的风险，而且相关准备工作已经就绪。注

第二个投资对象是太阳能。盖茨看中的人选是加州理工学院的内特·刘易斯（Nate Lewis），刘易斯研发的人工光合技术可以用太阳能来分解水，产生氢燃料。第三个投资对象是高空风能，它利用气流的动能发电。第四个投资对象是碳工程，它可以将二氧化碳从空气中分离出来，以取代碳捕获和封存技术。[注]

盖茨和其他亿万富翁还成立了“突破能源联盟”，为新技术的研发慷慨解囊。[注]

任何计划都无法打开通向未来的所有大门。选择缓解全球气候变化作为首要目标，就必须淘汰一些旨在改善而不是彻底放弃化石燃料的技术。此外，为新技术铺路的政策必须落实到位。成本加成定价法必须被废止，100多年来，这种价格监管机制对新技术研发起到了阻碍作用。我们必须抵制指定官方技术的诱惑，必须开发一种有效利用基础科学的方法。总的来说，我们必须为第二次电力系统之争和第二次电力大众化搭建宽广的舞台。

环境政策是这个宽广舞台的一个重要组成部分。在当下这个时代，人们能否在气候政策上做出建设性的妥协？那些说“不”的人可能会提到特朗普总统的内阁任命：俄克拉何马州的司法部部长斯科特·普鲁特（Scott Pruitt）调任美国环保局局长；得克萨斯州前州长里克·佩里（Rick Perry）入主能源部；埃克森美孚公司的首席执行官雷克斯·蒂勒森（Rex Tillerson）出任国务卿。然而，历史的教训告诉我们，现在到了该做出妥协的时候了。“瓦克斯曼—马尔凯法案”遭到参议院否决的2010年也是应该做出妥协的时候，但那些反对气候政策的人却导致战略机会从手边溜走。今天，我们回忆这段历史，可能会促使各方做出一种真正的妥协，或者形成一些创新性的政策，例如碳排放税、税制改革和政策清除的综合实施。有了正确的政策，再加上对新技术敞开大门，我们就有理由期待21世纪的电力业务将从根本上得到改善。

1. Bill Gates, “We Need Energy Miracles,” Gatesnotes (blog), June 25, 2014. <https://www.gatesnotes.com/Energy/Energy-Miracles>.
2. See, for example, Debbie Sniderman, “Harnessing Power from Slow Moving Currents,” ASME, February 2012, accessed October 1, 2016, <https://www.asme.org/engineering-topics/articles/mechanisms-systems-devices/harnessing-power-from-slow-moving-currents>.
3. Robert Rosner and Stephen Goldberg, “Small Modular Reactors—Key to Future Nuclear Power Generation in the U.S.,” Energy Policy Institute at Chicago, November 2011, 1, accessed October 1, 2016, <http://www.eenews.net/assets/2013/03/13/document_gw_01.pdf>.
4. “How Do Photovoltaics Work?,” NASA Science, accessed October 1, 2016, <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/>.
5. “Hydrogen Fuel Cell Vehicles,” Center for Climate and Energy Solutions, accessed October 1, 2016, <http://www.c2es.org/technology/factsheet/HydrogenFuel CellVehicles>.
6. Both Geim and Novoselov are at the University of Manchester, UK; “Scientific Background on the Nobel Prize in Physics 2010: Graphene,” The Royal Swedish Academy of Science, revised November 29, 2010, 1, 2, accessed October 1, 2016, <https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2010/advanced-physicsprize2010.pdf>; A.K. Geim and K.S. Novoselov, “The Rise of Graphene,” Nature Materials 6 (2007): 183; “The Home of Graphene: Energy,” The University of Manchester, accessed October 1, 2016, <http://www.graphene.manchester.ac.uk/explore/the-applications/energy/>; Peter Shadbolt, “Wonder Material Could Harvest Energy from Thin Air,” CNN, November 3, 2015, accessed October 1, 2016, <http://www.cnn.com/2014/12/23/tech/innovation/tomorrow-transformed-graphene-battery>.
7. “Press Release: The Nobel Prize in Chemistry, 2016.” The Royal Swedish Academy of Sciences, October 5, 2016, accessed December 31, 2016, <https://www.nobel prize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/press.html>.
8. “What Is U.S. Electricity Generation by Energy Source?,” Energy Information Administration, updated April 1, 2016, accessed October 1, 2016, <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.cfm?id=427&t=3>.

9. Bennet,“We Need an Energy Miracle”;Christopher Adams and John Thornhill,“Gates to Double Investment in Renewable Energy Projects,” Financial Times,June 25,2015,accessed October 1,2016, <http://www.ft.com/cms/s/2/4f66ff5c-1a47-11e5-a130-2e7db721f996.html#axzz4FiVaQ67b>;Christopher Martin,“Google Is Making Its Biggest Ever Bet on Renewable Energy,”Bloomberg,February 26,2015,accessed October 1,2016, <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-02-26/google-makes-biggest-bet-on-renewables-to-fund-solarcity>.

10. Bennet,“We Need an Energy Miracle.”

11. Bennet,“We Need an Energy Miracle”;Adams,“Gates to Double Investment in Renewable Energy Projects.”

12. Adams,“Gates to Double Investment in Renewable Energy Projects.”

13. “Introducing the Breakthrough Energy Coalition,”Breakthrough Energy Coalition,accessed October 1,2016, <http://www.breakthroughenergycoalition.com/en/index.html>.

致谢

如果没有约翰·加内特锲而不舍和富有见地的研究工作，就不会有我的这本书。期待乔治·梅森大学的这位顶级历史学家能完成更伟大的发现。

几十年来，很多传记作家、历史学家、科学家、记者、公司高管都写过与电有关的文章或书籍，对于他们做出的贡献，我深表感谢。这本书的末尾附有数百条注释，足以说明我是在其他人的研究成果的基础上完成这本书的。我希望所有的引用都已经标明出处，当然，如果有任何疏漏，都是我个人的责任。

感谢我的经纪人、纽约詹妮弗·莱昂斯版权代理公司的杰夫·奥凡。杰夫很早就认为这本书值得一读，他为此不知疲倦地工作，为了让读者早日看到它。

感谢本贝拉图书公司的出版人格伦·耶菲斯，他组建了一个了不起的编辑团队，为在这个图书出版的新时代取得成功做好了准备。与像斯蒂芬妮·戈顿·墨菲这样高明的编辑合作，是我的一大幸事。感谢本贝拉图书公司的主编丽娅·威尔森，她在这本书英文版的编辑过程中提出了独到的见解。

打磨一本书需要10年时间。在这段漫长的时间里，我的好朋友朱莉·西蒙一直在鼓励我，并提出了一条又一条的建议。她告诉我，书中的每一个章节都要让读者受到震撼，希望我没让她失望。我的另一个朋友马克·帕切利是我认识的最爱读书的人之一，他在读者会对哪些话题感兴趣以及如何吸引读者等方面为我提供了非常宝贵的建议。

感谢我的妻子乔安妮·勒班陀，感谢她在这10年里对我写作这本书的鼓励和包容。当然，她对我的重要意义远不只是这些。